

QUADERNI di ***Elettronica***

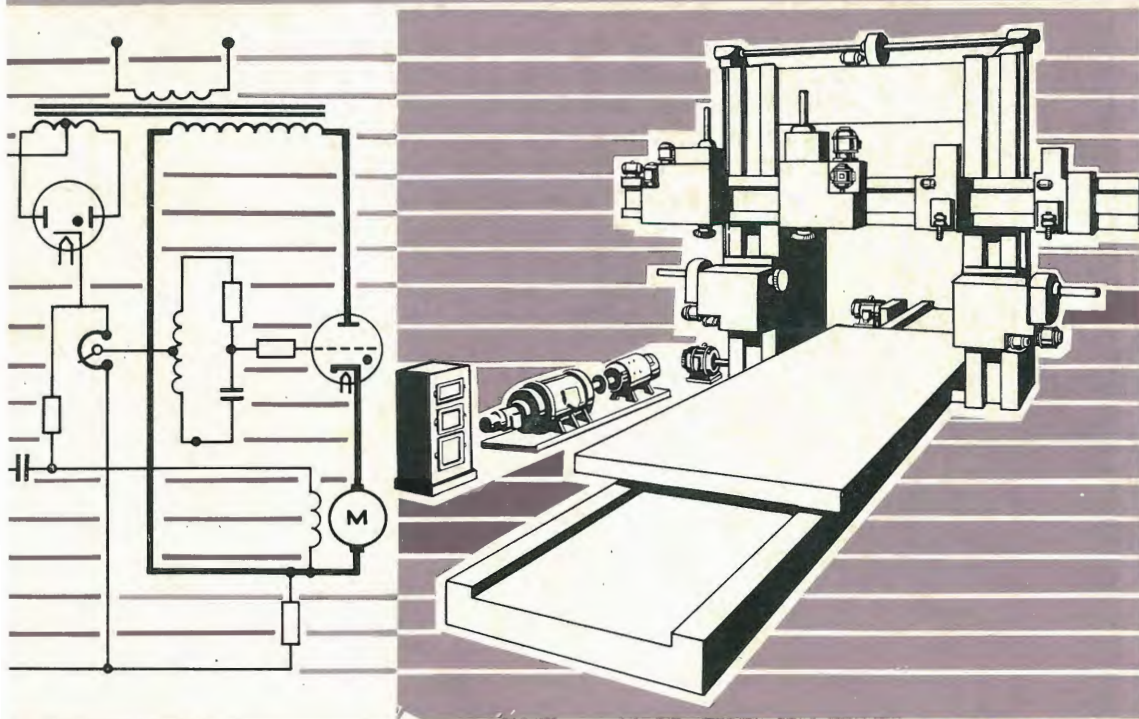
3E

PIER LUIGI CERATO

CIRCUITI FONDAMENTALI NELL'ELETTRONICA INDUSTRIALE

con tubi a vuoto e a gas

TERZA EDIZIONE



EDITORIALE DELFINO - MILANO

Pier Luigi Cerato

I TUBI ELETTRONICI NELL'INDUSTRIA

SECONDA EDIZIONE

148 pagine - oltre 200 illustrazioni - 35 tavole di cui la maggior parte dedicata alle caratteristiche ed ai dati di funzionamento dei tubi elettronici costruiti dalle principali Case Europee ed Americane L. 1200

Il continuo e progressivo diffondersi dell'elettronica industriale in ogni settore industriale, pone l'elettrotecnico che fino ad oggi si è occupato di correnti forti di fronte al problema di affrontare decisamente e seriamente lo studio di questa nuova branca della tecnica per non sentirsi un domani superato dall'inevitabile progresso che indubbiamente si svolgerà soprattutto nella direzione dell'elettronica.

È appunto nell'intento di sopperire alle esigenze di questi tecnici che l'Autore, forte di una lunga esperienza affinata presso grandi complessi industriali, ha compilato quest'opera che non ha riscontro nella bibliografia italiana e che a buon diritto può considerarsi il primo manuale pubblicato in Italia sulla elettronica industriale.

Il volume è organicamente suddiviso in quattro parti che trattano rispettivamente i tubi a vuoto, i tubi a gas, i tubi speciali ed i componenti dei circuiti elettronici (condensatori, resistori, ecc.). Inoltre, in una ampia appendice, sono riportati i principali difetti ed inconvenienti che possono verificarsi sui tubi elettronici ed il modo di ovviarli.

Riccamente illustrato, sia con schemi che figure prospettiche, con numerose tabelle e diagrammi, questo volume può essere una guida preziosa non solo per i tecnici dell'industria, ma anche per gli studenti degli Istituti Industriali.

Richiedetelo al vostro libraio o direttamente alla

EDITORIALE DELFINO

MILANO

PIER LUIGI CERATO

**CIRCUITI FONDAMENTALI
NELL'ELETTRONICA INDUSTRIALE
CON TUBI A VUOTO E A GAS**

EDITORIALE DELFINO - MILANO

TERZA EDIZIONE

Copyright 1964 by



· EDITORIALE DELFINO ·

PARTE I

CONSIDERAZIONI GENERALI

CAPITOLO I.

COSA SONO I CIRCUITI ELETTRONICI INDUSTRIALI

Per elettronica industriale si intende quella branca della elettrotecnica che tratta i circuiti industriali di cui entrano a far parte i tubi elettronici a vuoto e a gas, gli amplificatori magnetici, i transistori ed i triodi al silicio.

La principale ragione della diffusione dei circuiti elettronici industriali va ricercata nella possibilità di controllare la corrente passante, anche se molto elevata, impiegando una potenza esigua; altra ragione risiede nel fatto che, con gli elementi elettronici citati, è oggi possibile coordinare un gran numero di operazioni secondo un determinato programma e pilotare, in base a quest'ultimo, una macchina operatrice con:

- 1) limitato consumo di potenza, di spazio e di denaro;
- 2) accresciute possibilità di produzione, sia in senso quantitativo che qualitativo;
- 3) minor fatica da parte dell'uomo.

A questa affermazione e diffusione della elettronica industriale, deve necessariamente fare riscontro una sempre maggiore familiarità con essa da parte di chi ha la responsabilità degli impianti e del loro funzionamento negli stabilimenti ed in particolare di chi è addetto alla loro manutenzione.

E' evidente che non si può sempre avere a disposizione personale altamente specializzato; d'altra parte, gli azionamenti elettronici, impiegati per le macchine operatrici che uno stabilimento industriale via via installa, differiscono a seconda del fornitore; ciò accresce da un lato la difficoltà di disporre di personale a conoscenza di tutte le possibili soluzioni e, dall'altro,

obbliga il personale stesso ad un pesante lavoro di aggiornamento, ostacolato dalle esigenze di servizio che lasciano poco tempo per imparare e approfondire il funzionamento dei singoli circuiti.

E' perciò nostro intendimento illustrare, in questa pubblicazione, un certo numero di circuiti fondamentali, tratti da impianti di note ditte italiane e straniere, in modo da semplificare lo studio e la comprensione delle descrizioni e delle istruzioni allegate agli impianti stessi. In altre parole, noi siamo partiti dalla constatazione pratica che i circuiti completi, impiegati per l'azionamento di una macchina operatrice, risultano dalla riunione di circuiti fondamentali, più o meno caratteristici delle varie Case costruttrici, e che la conoscenza di tali circuiti semplifica al massimo grado la conoscenza del tutto.

D'altra parte, se è vero che i circuiti elettronici industriali vengono corredati (e l'utente lo deve pretendere in ogni caso) di istruzioni, è anche vero che tali istruzioni, per ragioni pratiche, non sono talmente approfondite da entrare nei particolari e sono appunto questi che spesso mettono a disagio chi deve avere a che fare con questi circuiti.

Siccome il campo dell'elettronica industriale è molto vasto, non è possibile riunirne in un solo quaderno tutti i capitoli. Abbiamo pertanto pensato di citare in questa sede le applicazioni ed i circuiti con tubi a vuoto ed a gas. Questi, come è noto, sono quei dispositivi che consentono il passaggio della corrente elettrica, in un solo senso, senza richiedere l'appoggio di un conduttore solido, come avviene negli altri rami della elettrotecnica.

Tra i vari circuiti disponibili, abbiamo scelto perciò quelli che a nostro avviso sono i più importanti sia come diffusione che come potenza controllata, riguardanti la alimentazione e la regolazione di motori a c.c. Per quanto riguarda i circuiti con amplificatori magnetici, i diodi al germanio ed al silicio, i transistori, rimandiamo il lettore alle opere specializzate sui singoli argomenti ⁽¹⁾. Prima di entrare nell'argomento specifico di questo manuale desideriamo però dare qualche chiarimento sui problemi inerenti all'elettronica industriale con tubi a vuoto e a gas.

Raffronto fra un circuito elettronico industriale ed un complesso radioricevente.

L'elettronica industriale che tratteremo è stata la prima offerta sul mercato, ma ha dovuto lottare a lungo prima di affermarsi perchè:

1) impiega tubi elettronici con bulbo in vetro ed i circuiti con tali tubi risultano fragili;

⁽¹⁾ Vedansi le opere appartenenti alla stessa collana dei «Quaderni di elettronica» ed in particolare:

E. Mazza - Diodi al germanio ed al silicio

E. Mazza - Transistori

P. L. Cerato - Amplificatori magnetici

2) comprende circuiti a forte impedenza, e questi risultano delicati e sensibili all'ambiente;

3) in un primo tempo richiama alla mente gli apparecchi radio, di cui molti avevano un timoroso rispetto.

Bisogna anzitutto ricordare che una delle condizioni fondamentali per la buona riuscita di un circuito elettrico industriale è la continuità di servizio ed a questa si affianca l'esigenza di una facile manutenzione: perciò i primi possibili utenti della elettronica industriale, a ragione o a torto che fosse, facevano un po' « fascio » tra essa e gli apparecchi radio e pensavano: ... continuerà a funzionare bene?... e se si guasta, chi ci mette le mani?...

Passato però il primo periodo di assestamento, i timori si sono diradati ed oggi i circuiti elettronici hanno un posto definitivo negli azionamenti industriali per la loro prontezza di risposta, l'esigua potenza richiesta per il loro controllo, la flessibilità ad ogni esigenza ed eventuale miglioramento futuro, la compattezza di costruzione con conseguente minimo ingombro e risparmio nelle fondazioni ed infine perchè sono circuiti statici che richiedono poca manutenzione, la quale si riduce quasi sempre alla sostituzione dei tubi esauriti. Oggi assistiamo addirittura al fenomeno inverso, ossia alla « moda » che spinge alcuni utenti ad adottare circuiti elettronici anche quando non sono strettamente necessari. Anche questa « moda » deve essere assolutamente bandita; il tecnico, nel decidere come azionare una macchina operatrice, deve passare in rivista le possibili soluzioni offerte dalla tecnica orientandosi in base a criteri tecnico-economici e basta.

Il paragone tra i circuiti elettronici industriali e circuiti elettronici per apparecchi radio è, a nostro parere, molto utile poichè offre subito un quadro generale delle prerogative e delle caratteristiche che differenziano l'elettronica industriale. I paragoni più significativi sono indicati nella tavola 1.

Complesso radioricevente

Complesso elettronico industriale

CONTINUITA' DEL SERVIZIO

Non ha molte esigenze di continuità di servizio; in caso di guasti, l'utente può aspettare l'arrivo di un tecnico specializzato senza che dall'attesa derivi un danno economico. In conseguenza di ciò l'utente, salvo che non sia un radioamatore, fa benissimo senza gli schemi e le istruzioni di funzionamento.

La continuità di servizio è essenziale ed il progetto dei circuiti viene anzitutto orientato in tal senso. Il Cliente deve poter effettuare le eventuali riparazioni o la sostituzione di elementi fuori servizio, senza ricorrere al tecnico del fornitore (che spesso è distante) per ridurre al minimo le sospensioni; viene perciò aiutato da schemi chiari e completi e da istruzioni particolareggiate.

STABILITA' DI FUNZIONAMENTO

Può servire alla meno peggio sino a che tace definitivamente o i disturbi superano la sopportabilità dell'utente. Ricordiamo a questo proposito che ancora oggi la sintonizzazione, quando non è automatica, viene ottenuta in modo meno che approssimato dall'utente (anche quando c'è l'occhio magico!).

Le macchine operatrici sono « utenti » molto sensibili alle variazioni delle caratteristiche dei circuiti elettronici; la messa a punto di questi ultimi, perciò, è molto accurata e gli elementi che li compongono sono scelti in modo da assicurare loro particolare stabilità nel tempo; è prevista in ogni caso la possibilità di ritocchi per mezzo di componenti variabili (resistenze, traferri, ecc.).

CARATTERISTICHE DI MONTAGGIO

E' un circuito racchiuso in un mobile che può essere spostato facilmente e disposto nella posizione migliore quando viene riparato.

E' generalmente legato ad un quadro o comunque fissato nel posto ove viene montato; perciò la realizzazione è tale da consentirne il controllo e la riparazione in loco.

COLLEGAMENTI ESTERNI

Ha pochi collegamenti esterni (in pratica, il solo collegamento a rete luce monofase).

Può comprendere molti collegamenti esterni con altri circuiti o macchine, con possibilità di accoppiamenti indesiderati dovuti alla lunghezza dei cavi (eliminabili con opportune schermature) o di perdite (da escludere con opportuna progettazione dell'isolamento).

SISTEMI DI UNIONE FRA I CONDUTTORI

Viene largamente usata la saldatura tra i singoli componenti.

La saldatura è, appena possibile, sostituita dal morsetto a vite che facilita la sostituzione del pezzo collegato; anche gli zoccoli dei tubi vengono spesso previsti con morsetti terminali.

Complesso radioricevente

Complesso elettronico industriale

DISPOSIZIONE DEI COLLEGAMENTI INTERNI

I collegamenti interni sono apparentemente confusi ed il più possibile corti perchè dettati dalla preoccupazione di accoppiamenti indesiderati.

Le frequenze in gioco non fan temere, in generale, accoppiamenti pericolosi dato che i collegamenti interni non sono molto lunghi; i collegamenti possono perciò essere posati con un certo ordine; inoltre, per la pronta individuazione dei cavetti, i loro estremi vengono numerati, come le morsettiere, in modo conforme agli schemi.

CRITERI COSTRUTTIVI

Viene costruito con i criteri economici della grande serie, con circuiti brillanti ma molto complessi, comprendenti tubi a molte griglie per concentrare il più possibile le operazioni.

Rappresentando in genere una aliquota (economica) limitata dell'impianto, i circuiti sono progettati con criteri « analitici » usando molti tubi semplici (triodi o tetrodi), ciascuno dei quali provvede ad una certa funzione. Tra l'altro, questo criterio facilita la comprensione del funzionamento anche a non specialisti e l'individuazione dei guasti.

TARATURA DEGLI APPARECCHI

E' un circuito fine a se stesso e la messa a punto è completata in fabbrica.

Il progetto e la messa a punto dipendono dalla macchina operatrice cui il circuito viene applicato e della quale il circuito è parte integrante (1).

POTENZE IN GIUOCO

Deve fornire in genere potenze limitate di tipo alternativo ed impiega, nella quasi totalità, tubi a vuoto; quando la potenza è rilevante (per es. nei trasmettitori), questa viene ottenuta per mezzo di tensioni anodiche elevate.

Deve fornire potenze qualsiasi, sia continue che alternate; impiega pertanto sia tubi a vuoto che tubi a gas, questi ultimi per erogare potenze rilevanti senza ricorrere a tensioni eccessive.

AMBIENTI DI LAVORO

E' previsto per ambiente pulito, asciutto, senza vibrazioni e a temperatura praticamente costante (salvo i tipi speciali per impieghi al di fuori della radiodiffusione).

L'ambiente può essere qualsiasi e deve essere indicato come dato di progetto.

(1) Gli azionamenti moderni tendono ad essere sempre più legati alla macchina operatrice azionata e la conoscenza esatta di questa interdipendenza deve guidare l'acquirente ed il fornitore della macchina e dell'azionamento nelle loro trattative. Non sarà mai ripetuto abbastanza che, anche quando il fornitore della macchina operatrice risponde del suo azionamento, l'acquirente deve verificare i requisiti dell'azionamento stesso avendo, per esempio, presente l'eventuale aggiunta futura di dispositivi non contemplati all'atto dell'acquisto.

CAPITOLO II.

I TUBI A VUOTO ED A GAS

Tubi a vuoto e circuiti di regolazione.

Gli elementi fondamentali dei circuiti elettronici industriali sono, come si è detto, i tubi elettronici, che si dividono in due grandi famiglie: tubi a vuoto e tubi a gas. Lasciamo a pubblicazioni specializzate (*) di illustrare nei particolari il loro funzionamento perchè in queste pagine intendiamo parlare dei circuiti e non degli elementi che li compongono; ma per amore di completezza ne accenneremo, anche perchè alla divisione accennata corrisponde, grosso modo, la divisione tra i circuiti elettronici in: circuiti di regolazione e circuiti di potenza.

I tubi a vuoto si presentano in generale come ampole in vetro (fig. 1) entro le quali è stato fatto il vuoto (da cui il nome) e sono stati sistemati degli elettrodi; uno di questi (catodo) ha la possibilità, se riscaldato, di emettere elettroni e un altro (placca) ha la possibilità di captare questi elettroni se a potenziale positivo rispetto al primo.

Tra questi due elettrodi sono disposti, se occorre, altri elettrodi (griglie) che hanno

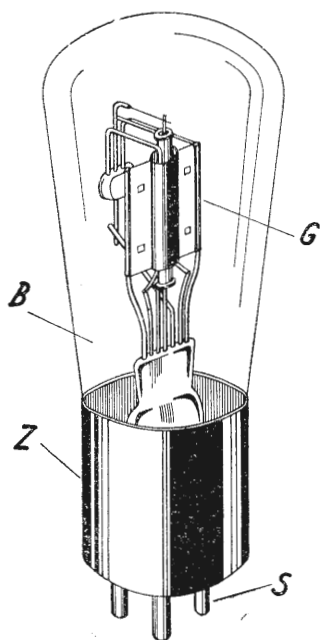


Fig. 1 - Aspetto caratteristico di un triolo a riscaldamento indiretto del catodo.

- A - Complesso degli elettrodi
- B - Bulbo di vetro
- Z - Basetta in materia plastica (si chiama anche zoccolo)
- S - Spinotti o piedini

(*) Per maggiori delucidazioni vedasi il manuale « *Tubi Elettronici nell'industria* » edito dalla Editoriale « Delfino » - Milano, e dal quale abbiamo tratto parte delle notizie riguardanti i tubi a vuoto ed a gas, per comodità del lettore.

lo scopo di pilotare il flusso di elettroni che dal catodo si dirige alla placca (fig. 2).

Se non sono previste le griglie, i tubi vengono impiegati per ottenere, da segnali di polarità variabile, segnali di polarità determinata, come av-

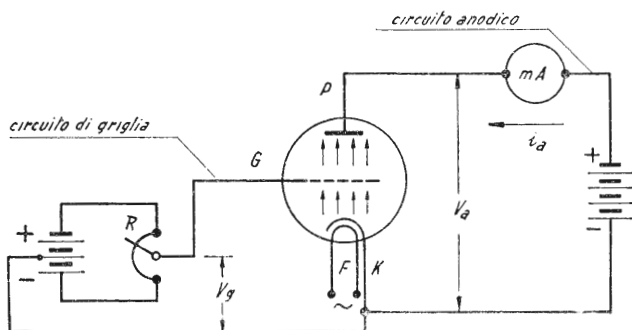


Fig. 2 - Schema base per la comprensione del funzionamento di un tubo a vuoto.

V_g - Tensione di griglia

P - Placca

G - Griglia

F - Filamento

K - Catodo

V_a - Tensione anodica

i_a - Corrente anodica

R - Reostato

Le frecce indicate nell'interno del tubo rappresentano la direzione del movimento degli elettroni, che, come si può osservare, è contraria alla direzione convenzionale, indicata dalla freccia posta sopra i_a (corrente anodica) all'esterno del tubo.

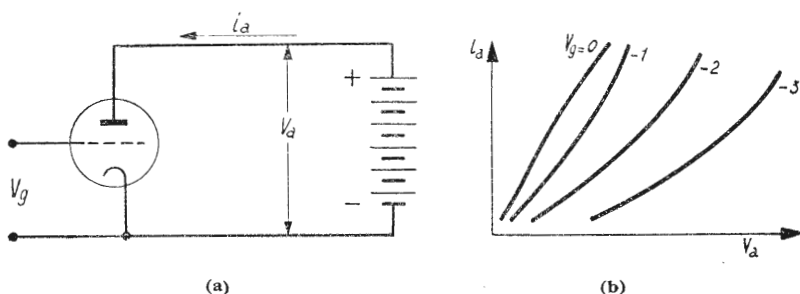


Fig. 3 - Schema di inserzione (a) di un triodo e relativa caratteristica anodica (b).

V_a - Tensione anodica (costante)

V_g - Tensione di griglia (griglia/catodo)

i_a - Corrente anodica.

viene nei raddrizzatori. Quando sono previste le griglie, invece, siamo di fronte a congegni che consentono di ottenere un segnale di uscita (la corrente di placca, o anodica), quale risultante di più segnali di entrata (le tensioni applicate tra le griglie e il catodo). Nella figura è indicata la prestazione di un normale triodo, ossia un tubo con una griglia.

Qualora si abbiano più griglie, si possono ottenere prestazioni parti-

colari — ad esempio, l'indipendenza della corrente anodica della tensione anodica — come è indicato nella figura 4.

Per queste loro caratteristiche, i tubi a vuoto vengono impiegati per confrontare, smistare e graduare, ossia «programmare» i segnali prove-

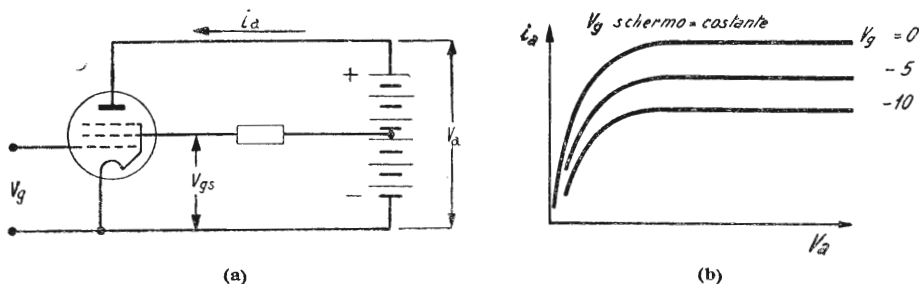


Fig. 4 - Schema di inserzione (a) di un tubo a vuoto con tre griglie (pentodo) e relativa caratteristica (b) anodica (andamento della corrente anodica in funzione della tensione anodica con tensione di griglia costante).

V_a - Tensione anodica
 V_g - Tensione di griglia
 i_a - Corrente anodica
 V_{gs} - Tensione griglia schermo

nienti da più punti della macchina controllata, e produrre un segnale che viene poi utilizzato dagli stadi di potenza per pilotare la macchina stessa.

Ai circuiti impiegati a tale scopo daremo il nome di circuiti di regolazione.

I tubi a vuoto non consentono di pilotare grandi potenze, salvo che non si ammettano tensioni tra placca (o anodo) e catodo (tensioni anodiche) molto elevate come avviene nelle stazioni trasmettenti per radiodiffusione.

Nel campo industriale però le tensioni di lavoro molto elevate sono di ostacolo non solo per la incolumità del personale, ma anche perchè richiedono costruzioni speciali dei quadri e delle macchine. Tralasciamo di proposito gli impianti per i trattamenti ad alta frequenza perchè oggetto di una tecnica specializzata che esce dal campo che ci siamo proposti di illustrare.

Tubi a gas e circuiti di potenza.

I tubi a gas sono in vetro, vetro e metallo o completamente in metallo a seconda della potenza che possono controllare; questi tubi funzionano essenzialmente da interruttori dove l'elemento che chiude il circuito tra anodo e catodo è una scarica nel gas (da cui il nome) racchiuso nel tubo.

I gas impiegati sono i vapori di mercurio o i gas rari; il catodo dei piccoli tubi a gas è analogo a quello dei tubi a vuoto (figg. 5-6); quello dei tubi a gas di maggior potenza è rappresentato da una pozzetta di mercurio. In prossimità della pozzetta di mercurio sono presenti uno o più anodi sussidiari (fig. 7) che tengono in vita l'arco durante i periodi in cui non si ha la scarica «principale».

Per « adescare l'arco » tra anodo e catodo, quando il primo è a potenziale positivo rispetto al secondo, viene impiegato un elettrodo detto griglia (come nei tubi a vuoto) il quale può comandare « l'accensione » del tubo

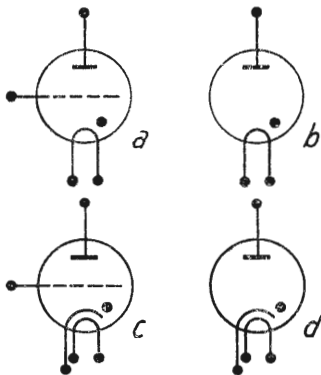


Fig. 5 - Simboli di tubi a gas a catodo caldo.

- a) Triodo a riscaldamento diretto
- b) Diodo a riscaldamento diretto
- c) Triodo a riscaldamento indiretto
- d) Diodo a riscaldamento indiretto.

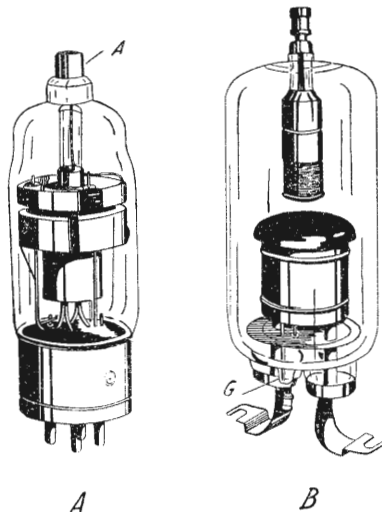


Fig. 6 - Due esecuzioni diverse di tiratron.

- A - Tiratron Philips a gas raro (Neon)
- B - Thyatron Philips a vapori di Hg
- A - Anodo = G - Griglia.

ma non l'estinzione dell'arco; per ottenere l'estinzione dell'arco occorre interrompere il circuito di alimentazione anodica, oppure, come avviene nella generalità dei casi, si alimenta il circuito anodico con tensione alternata.

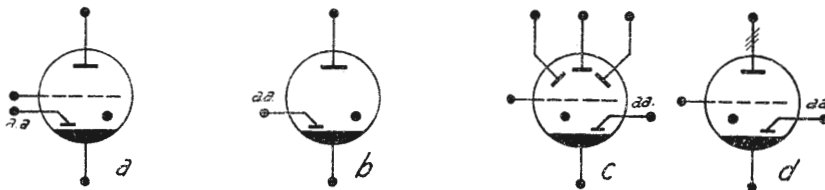


Fig. 7 - Simboli di tubi a gas a catodo liquido (a.a. = anodo di accensione).

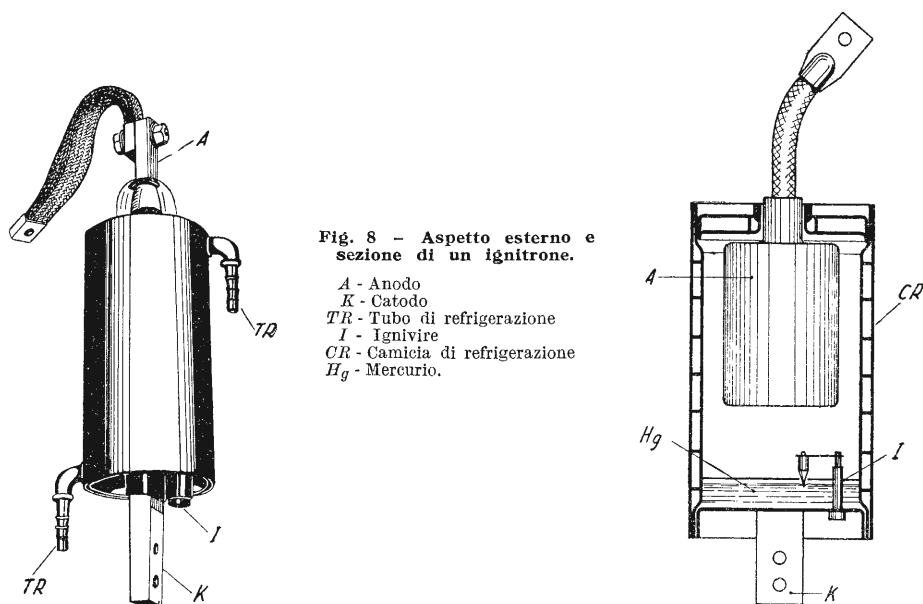
- a) Triodo
- b) Diodo
- c) Ampolla trifase
- d) Ampolla trifase (schema unifilare).

Certi tipi di tubi a gas vengono, infine, chiamati «ignitroni» (fig. 8) perchè sono muniti di un elettrodo di controllo speciale, detto ignitore (da cui il nome), che funge contemporaneamente da griglia ed anodo ausiliario.

Più esattamente, si tratta di tubi a gas, con solo anodo e catodo (diodi), muniti di un elettrodo (ignitore) col quale viene adescato, quando occorre, un piccolo arco che si propaga quasi istantaneamente all'anodo principale (o anodo propriamente detto) « accendendo » il tubo.

Quando non esiste l'elettrodo di controllo, i tubi a gas sono impiegati come semplici raddrizzatori e li troviamo nella carica delle batterie, negli impianti di trazione, ecc.

Quando esiste l'elettrodo di controllo ed i tubi sono alimentati in corrente alternata, l'elettrodo serve a ritardare più o meno la accensione del tubo durante i semiperiodi in cui l'anodo è positivo; a causa di ciò il



carico risulta attraversato da una corrente media in funzione del ritardo di accensione che certi autori chiamano « parzializzazione ».

Dato che nei tubi a gas la conduzione dipende da un arco tra anodo e catodo, ossia si attua a seguito di un quasi corto circuito tra questi due elettrodi, si comprende che tali tubi possono controllare correnti di gran lunga superiore a quelle controllabili con tubi a vuoto e che la corrente dipende essenzialmente dal carico perchè, quando si accendono, la tensione fornita dalla sorgente viene applicata quasi tutta a quest'ultimo.

Per queste caratteristiche i tubi a gas, in generale, vengono impiegati nei circuiti di potenza (o, meglio, negli stadi di potenza) degli azionamenti ossia per controllare direttamente la potenza richiesta e ricevono il segnale pilota dagli stadi di regolazione.

CAPITOLO III.

RAPPORTI TRA ELETTRONICA INDUSTRIALE E AZIONAMENTI INDUSTRIALI

Servomeccanismi e circuiti di regolazione.

E' noto che le esigenze principali della produzione industriale sono la velocità e la accuratezza delle esecuzioni cui si affiancano l'economia dell'impianto e dello spazio.

E' inoltre noto che l'uomo, trovatosi da tempo in condizioni di inferiorità rispetto al lavoro che voleva compiere, per risolvere questo problema ha realizzato delle macchine che consentono di sfruttare potenze rilevanti e di essere comandate dall'uomo. A queste macchine così concepite si dà oggi il nome di *servomeccanismi*, nel senso che consentono di « maneggiare » una potenza molto grande richiedendo una limitata potenza per il loro controllo.

Recentemente, però, anche le macchine hanno superato, per così dire, le possibilità di controllo dell'uomo e allora questi ha indirizzato i suoi sforzi a realizzare:

1) dei servomeccanismi che richiedono una potenza di pilotaggio sempre più piccola;

2) dei circuiti, detti circuiti di regolazione, che risultino più pronti dell'operatore e riescano perciò a verificare ed eventualmente correggere il funzionamento del servomeccanismo (e dell'azionamento della macchina operatrice considerato nel suo insieme) senza bisogno di rallentare la velocità di funzionamento della macchina operatrice stessa.

A queste due esigenze risponde pienamente l'Elettronica Industriale con i tubi a gas e rispettivamente con i tubi a vuoto, come abbiamo accennato in precedenza.

Si può dire infine che il termine « servomeccanismo » tende a comprendere anche il termine « circuito di regolazione » per cui definiremo servo-

meccanismo un amplificatore di potenza con possibilità di controllo automatico secondo un programma prestabilito dall'operatore.

Esempio di servomeccanismo.

Per chiarire la definizione data in precedenza, considereremo un motore a c.c., alimentato con tubi a gas e regolato in velocità per mezzo di un circuito di regolazione realizzato con tubi a vuoto.

Come si vede nella fig. 9, per regolare la velocità del motore a c.c., collegato a quest'ultimo c'è un generatore tachimetrico, che fornisce una tensione-segnale (in c.c.) proporzionale alla velocità stessa. Per verificare la costanza della velocità ed eventualmente correggerne gli scostamenti dal valore voluto, la tensione «segnale di velocità» o «reazione» viene confrontata con una tensione di «riferimento» fornita da un circuito, detto appunto «di riferimento», formato da un tubo stabilovolt (Sv) caricato sul reostato (Rv), per mezzo del quale l'operatore sceglie la velocità voluta. La differenza tra le due tensioni, detta tensione «pilota», viene applicata ad un amplificatore elettronico formato da due triodi in cascata. Il circuito anodico del secondo stadio controlla a sua volta il circuito sfasatore, che pilota due tubi a gas, i quali alimentano la armatura del motore a c.c. e fungono da stadio di potenza.

Le cose sono disposte in modo che se, per esempio, il motore diminuisce di velocità, la tensione pilota cresce, diminuendo, attraverso l'amplificatore e lo sfasatore, la parzializzazione dei tubi, ossia aumentandone il periodo di conduzione in modo da sollecitare il motore a riprendere la velocità voluta dall'operatore.

Il circuito di regolazione che abbiamo descritto, è un servomeccanismo in quanto con due tubi a gas (come indicato in fig. 9) si può alimentare un motore, per esempio, di 10 kW, mentre il segnale di controllo (quello «pilota» citato in precedenza), dovendo bastare a pilotare il primo triodo dell'amplificatore, è minimo (dell'ordine di alcuni milliwatt, tenendo conto del circuito usato per confrontare il riferimento con la reazione).

Suddivisione funzionale di un servomeccanismo. - Schema a blocchi.

Dalla descrizione dell'esempio precedente possiamo ricavare gli elementi fondamentali, che compongono un servomeccanismo. Questi sono:

1) *Circuito di riferimento o Riferimento* che fornisce un segnale atto a rappresentare la grandezza che deve essere controllata.

Nell'esempio citato, il Riferimento è formato da un alimentatore che fornisce una tensione costante per mezzo di uno stabilovolt, e da un reostato, che rappresenta essenzialmente il carico dell'alimentatore; tra il cursore ed un estremo del reostato (Rv) viene prelevato il segnale di riferimento.

2) *Circuito di reazione o Reazione* che trasforma la grandezza controllata in un segnale omogeneo a quello di riferimento, o comunque tale

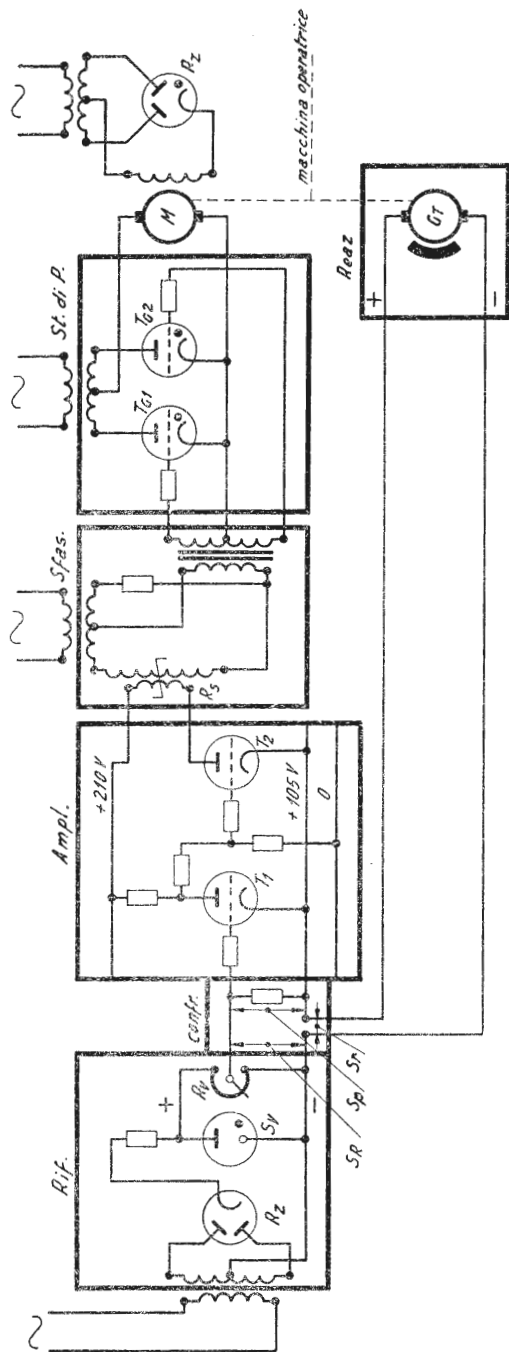


Fig. 9 - Esempio di servomeccanismo (elettronico).

Rif. - Circuito di riferimento
Ampl. - Circuito di amplificazione
Sfas. - Circuito sfasatore
St. di P. - Stadio di potenza
Reaz. - Circuito di reazione
Confr. - Circuito di confronto
R₁ - Stabilizzatore (a gas)
R₂ - Reostato (potenziometro) di velocità
R₃ - Reattore saturabile (il simbolo che taglia i due avvolgimenti si usa per significare che il nucleo è di materiale con ciclo di isteresi rettangolare).

S.R. - Segnale (tensione) di riferimento
S.P. - Segnale (tensione) di reazione
T₁, *T₂* - Tubi a vuoto
T₃, *T₄*, *T₅* - Tubi a gas
M - Motore a c.c.
R₂ - Raddrizzatore
GT - Generatore tachimetrico (in c.c. e campo a magnete permanente)
Nota. - Lo schema è semplificato in molti particolari per metterne in evidenza i soli elementi essenziali.

da poter essere con questo confrontato, per ottenere il segnale pilota, che a sua volta è utilizzato per controllare la grandezza controllata.

Nell'esempio citato il circuito di reazione è costituito dal generatore tachimetrico che trasforma la velocità del motore (grandezza controllata) in una tensione continua ad essa proporzionale.

3) *Circuito di confronto e circuito di amplificazione del segnale, o Amplificatore*; il primo genera il segnale pilota per confronto tra Riferimento e Reazione e il secondo lo amplifica per renderlo atto a comandare gli stadi di potenza.

All'insieme di questi due circuiti si può dare anche il nome di Regolatore in quanto l'operazione fondamentale della regolazione si attua col confronto citato.

Nell'esempio descritto, il confronto è effettuato collegando le polarità omonime della tensione di riferimento e della tensione di reazione attraverso un resistore, a sua volta collegato all'ingresso dell'amplificatore v due stadi con tubi a vuoto.

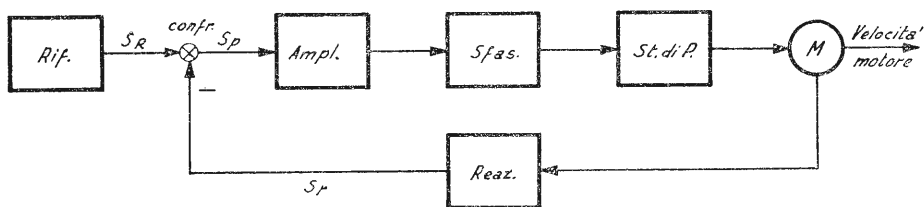


Fig. 10 - Schema a blocchi di servomeccanismo illustrato nella fig. 9.

Rif. - Circuito di riferimento
Ampl. - Circuito di amplificazione
Sfas. - Circuito sfasatore
St. di P. - Stadio di potenza
Reaz. - Circuito di reazione

Confr. - Circuito di confronto
S.R. - Segnale (tensione) di riferimento
S.r. - Segnale (tensione) di reazione
S.p. - Segnale (tensione) pilota
M - Motore a c. c.

Con questo collegamento, la tensione che pilota la griglia del primo tubo a vuoto, è data dalla *differenza* tra Riferimento e Reazione; si dice perciò che si tratta di « Reazione negativa » la quale risulta essere il presupposto essenziale per ottenere la regolazione.

4) *Circuito amplificatore di potenza o Stadio di potenza* che, guidato dal segnale uscente dall'Amplificatore fornisce al carico la potenza controllata.

Nel caso citato ad esempio, lo Stadio di potenza è costituito essenzialmente dallo sfasatore e dai tubi a gas, ed il carico è costituito dal motore a c.c. alimentato da questi ultimi.

Il servomeccanismo, individuato nei suoi elementi essenziali, può infine essere rappresentato da uno schema, detto « *schema a blocchi* », illustrato nella fig. 10 dove, al posto degli elementi circuitali, sono stati tracciati dei rettangoli entro cui è indicato il simbolo dell'elemento rappresentato.

Lo schema a blocchi è utilissimo nello studio di un servomeccanismo perchè, una volta individuato tale schema, risulta enormemente facilitata l'intelligenza del funzionamento del circuito, preso nel suo complesso.

PARTE II

CIRCUITI FONDAMENTALI CON TUBI A VUOTO

CAPITOLO I.

FUNZIONAMENTO DEI TUBI A VUOTO

Si è già detto in precedenza che i tubi a vuoto, nella Elettrotecnica Industriale, vengono quasi sempre impiegati per raccogliere e confrontare segnali la cui risultante serve per pilotare gli stadi di potenza.

In particolare, i tubi a vuoto vengono fatti funzionare, quasi sempre, come resistenze il cui valore è variabile per mezzo della griglia; inoltre, in funzionamento normale, per ogni valore della tensione di griglia (ossia tra griglia e catodo) si ha un valore della corrente anodica diverso da zero. In questo caso si dice anche che i tubi funzionano come amplificatori in classe A, mettendo in evidenza la possibilità di ottenere sul circuito anodico un segnale amplificato rispetto a quello di griglia.

Ricordiamo a questo proposito che la caratteristica dei servomeccanismi in genere e dei loro elementi in particolare è appunto quella di amplificare.

L'amplificazione considerata quasi sempre nei tubi a vuoto è quella di tensione nel senso che si cerca di ottenere dal circuito anodico un segnale di tensione maggiore di quello applicato tra griglia e catodo o, più esattamente, si cerca di ottenere dal circuito anodico una variazione di tensione maggiore della variazione applicata alla griglia.

Prima di trattare più particolarmente l'argomento, sarà però utile esporre come si applica e come si preleva un segnale da un tubo a vuoto.

CAPITOLO II.

LO STADIO DI AMPLIFICAZIONE

Il circuito più semplice e generale di uno stadio di amplificazione è dato dalla fig. 11.

Il segnale di ingresso può essere applicato alla griglia *o/e* al catodo. Il segnale di uscita può essere a sua volta prelevato dall'anodo *o/e* dal catodo (se $R_k \neq 0$); può infine essere prelevato come segnale di corrente anodica (per es. se R_a è costituita dal campo di eccitazione di uno sfasatore come si ha, per esempio, nella fig. 20-c).

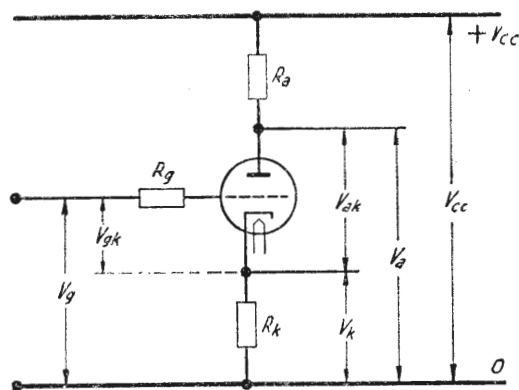


Fig. 11 - Circuito fondamentale di inserzione di un tubo a vuoto.

- V_g - Tensione complessiva di griglia
- V_{gk} - Tensione griglia catodo
- V_{cc} - Tensione complessiva di alimentazione
- V_a - Tensione anodica
- V_k - Tensione di caduta ai capi della resistenza catodica
- V_{ak} - Tensione anodica netta (tensione placca/catodo)
- R_a - Resistenza anodica
- R_g - Resistenza di griglia
- R_k - Resistenza catodica

In ogni caso il segnale pilota « utile » è dato dalla tensione tra griglia e catodo (V_{gk}) e di ciò occorre tener conto quando il segnale di ingresso è applicato tra griglia e polo negativo ed R_k è differente da zero ($V_{gk} = V_g - V_k$).

Le caratteristiche dei tubi prevedono solo e sempre le tensioni qui indicate con V_{gk} e V_{ak} .

La resistenza R_a è indispensabile quando si preleva il segnale di tensione dalla placca (V_a).

La stessa cosa vale per R_k se il segnale di ingresso o di uscita è « sul catodo ».

Passeremo ora in rivista i casi più comuni.

1) *Entrata in griglia e uscita (in tensione) dall'anodo.*

E' il caso più frequente e la variazione massima di V_a si ottiene considerando i casi limiti di tubo interdetto e di tubo in corto circuito (non realizzabile in pratica ma utile per eseguire i calcoli), tracciando la retta di funzionamento sulle caratteristiche (ossia il segmento che collega i punti rappresentativi dei casi limiti) e determinando il tratto utile di funzionamento che in generale è circa il 70 % del segmento tracciato.

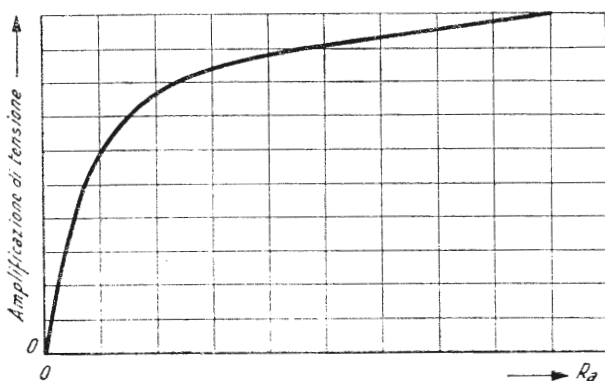


Fig. 12 - Andamento della amplificazione ($\Delta V_a / \Delta V_g$) di un tubo a vuoto al variare della resistenza inserita nel circuito anodico ($R_k = 0$).

R_a - Resistenza anodica
 R_k - Resistenza sul catodo

Se l'anodo o/e il catodo sono collegati ad altri circuiti che assorbono potenza, se ne deve tener conto; ma ora supporremo per semplicità che l'assorbimento di tali circuiti sia nullo e considereremo la fig. 11 quando $R_k = 0$, ossia: $V_g = V_{gk}$ e $V_a = V_{ak}$. Al variare di R_a varia la amplificazione di tensione ottenibile (fig. 12) e per ogni tubo esiste un valore ottimo che tien conto anche della utilizzazione del tubo stesso (per es.: con i tubi 6S N7-GT R_a è generalmente 0.1 MΩ).

Se R_k è diversa da zero, intervengono due fatti interessanti:

a) Il valore minimo di V_a è

$$V_{a \min} = V_{cc} \frac{R_k}{R_a + R_k}$$

(tubo in corto circuito).

b) Il segnale utile di griglia è dato dalla differenza fra il segnale tra griglia e polo negativo e la caduta ai capi di R_k ($V_{gk} = V_g - V_k$).

Si conclude perciò che R_k diminuisce la amplificazione del tubo e siccome la caduta ai suoi estremi si sottrae al segnale « lordo » di ingresso, si può anche dire che R_k rappresenta una reazione negativa tra uscita ed entrata del tubo (vedere in proposito quello che abbiamo esposto nella parte I cap. III parlando dei servomeccanismi).

Da notare infine che l'uscita (in tensione) dall'anodo varia in senso opposto ossia è discorde rispetto il segnale di griglia.

2) Entrata in griglia ed uscita dal catodo (catode follower).

In questo caso R_a è generalmente uguale a zero; per il resto il funzionamento è analogo al precedente salvo che:

a) la amplificazione di tensione è sempre inferiore all'unità perchè la variazione di V_g deve essere maggiore della variazione di V_k .

b) la variazione di V_k è concorde a quella di V_g .

L'uscita dal catodo si impiega generalmente quando è richiesto che il segnale di uscita non « cambi di segno » rispetto a quello entrante e si vuole isolare elettricamente i due segnali.

3) Entrata sul catodo (tensione).

Questa disposizione è prevista in alcuni circuiti differenziali di cui daremo un esempio in seguito. Si usa anche quando al segnale di griglia se ne vuole sovrapporre un altro senza ricorrere a un tubo con due griglie.

In ogni caso l'uscita è dall'anodo e, se si preleva V_a , è concorde col segnale di entrata.

4) Uscite in corrente.

Quando la corrente anodica è impiegata come segnale di uscita, per ottenere la massima amplificazione si cerca di diminuire al massimo la resistenza dell'utilizzatore e di far funzionare perciò, quanto possibile, il tubo a tensione anodica costante ($R_a = 0$; $R_k = 0$).

Se però si tien conto che la corrente di saturazione del tubo è sempre elevata rispetto al valore indicato dalle tabelle per il funzionamento normale, la resistenza dell'utilizzatore è prevista in modo da limitare la corrente stessa a valori non pericolosi, nel caso di interruzione del collegamento di griglia o di segnali di griglia troppo positivi.

Il segnale di uscita di corrente è concorde al segnale di tensione di entrata in griglia e opposto, o discorde, al segnale di tensione di entrata, se applicato al catodo.

CAPITOLO III.

AMPLIFICATORE IN CORRENTE CONTINUA (C. C.) E IN CORRENTE ALTERNATA (C. A.)

Un amplificatore è essenzialmente formato da più stadi del tipo precedentemente illustrato nel capitolo II e può essere in c.c. o in c.a.

Si dice che un amplificatore è in c.c. se può trasmettere segnali di qualsiasi forma (a parte la deformazione che deriva dagli elementi impiegati); tale amplificatore è formato da stadi collegati accoppiati direttamente senza l'intermezzo di condensatori o di trasformatori (fig. 13).

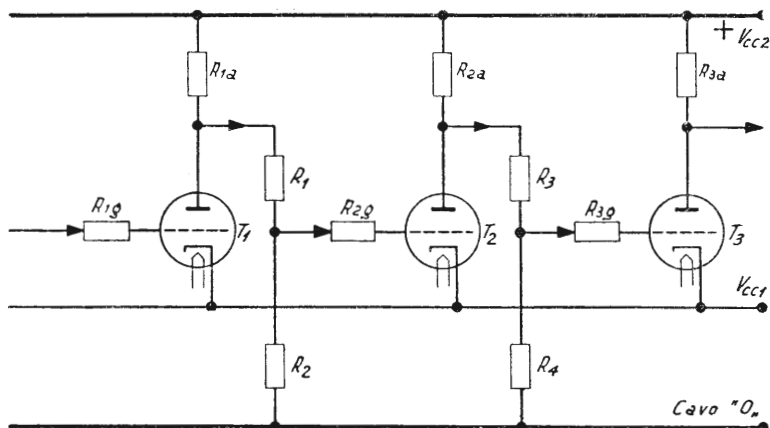


Fig. 13 - Stadi di amplificazione in c.c.

$T_1 - T_2 - T_3$ - Tubi a vuoto
 $R_1 - R_2 - R_3 - R_4$ - Resistenze (prese potenziometriche che trasferiscono il potenziale dell'anodo di un tubo alla griglia del tubo che segue)

$V_{cc1} - V_{cc2}$ - Tensioni di alimentazione, misurate rispetto il cavo « O ».
 $R_{1a} - R_{2a} - R_{3a}$ = Resistenze anodiche
 $R_{1g} - R_{2g} - R_{3g}$ = Resistenze di griglia

Si dice invece che un amplificatore è in c.a., se può tramettere solo segnali di tipo alternativo o comunque la componente, variabile nel tempo, dei segnali impressi; l'accoppiamento tra gli stadi viene realizzato, in questo caso, attraverso condensatori o trasformatori (fig. 14).

La questione della scelta tra un tipo e l'altro di amplificatore è molto complessa ed esula dall'intendimento della nostra esposizione rivolta non tanto ai progettisti quanto agli utenti di circuiti elettronici industriali.

Riteniamo però di spendere sull'argomento qualche parola che può essere utile alla manutenzione.

Gli amplificatori in c.c. sono più semplici sia come schema che come funzionamento, ma sono sensibili alla deriva delle caratteristiche dei componenti perchè l'allineamento di uno stadio dipende da tutti gli stadi precedenti. Quando un amplificatore in c.c. è « a riposo », i potenziali di griglia sono fissati in modo che ogni tubo si trovi a metà del campo di funzionamento; se allora un tubo o un resistore varia di caratteristiche, questa variazione si trasmette (eventualmente amplificata) agli stadi che seguono

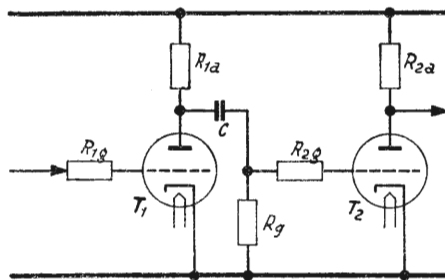


Fig. 14 - Accoppiamento tra stadi di un amplificatore in c.a.

R_{1a} - R_{2a} - Resistenze anodiche
 R_g - R_{1g} - R_{2g} - Resistenze di griglia
 C - Condensatore di accoppiamento
 T_1 - T_2 - Tubi a vuoto

e se il circuito è mal progettato, può capitare che l'amplificatore non possa funzionare perchè messo « fuori campo » dal solo drift.

Un amplificatore in c.a., invece, è più complesso come schema e come funzionamento, contiene un maggior numero di elementi, ma è quasi insensibile alla deriva dei componenti perchè questa può essere assimilata ad un segnale lentamente variabile che non viene trasmesso agli stadi successivi ed è generalmente abbastanza piccola per riuscire a influire sensibilmente sul funzionamento dello stadio interessato.

La questione è ben lungi dall'essere esaurita ma possiamo dire che, salvo casi di competenza specifica, la scelta dipende dalla ditta costruttrice.

Non bisogna infine confondere il termine: amplificatore in c.c. (o c.a.) col termine: amplificatore alimentato in c.c. (o c.a.).

Un amplificatore « alimentato in c.c. » può essere del « tipo in c.c. » o

del « tipo in c.a. »; un amplificatore « alimentato in c.a. » è anche del « tipo in c.a. ».

In altre parole: gli amplificatori in c.c. sono alimentati sempre in c.c.; quelli in c.a. possono essere alimentati sia in c.c. (esempio tipico è l'apparecchio radio ricevente) che in c.a.

Note sull'accoppiamento tra stadi di amplificazione.

Accoppiare due stadi significa trasmettere il segnale di uscita del primo come segnale di ingresso del secondo.

Gli amplificatori in c.c. prevedono l'accoppiamento diretto e siccome i tubi a vuoto funzionano generalmente con potenziale negativo di griglia (a riposo) occorre prevedere due tensioni di alimentazione. Nella fig. 13 si vede appunto che i tubi sono collegati tra V_{cc1} e V_{cc2} , mentre il cavo « O », che è il negativo comune a predetti potenziali, serve ad ottenere dal partitore di tensione, formato da R_1 ed R_2 , il « potenziale base » di griglia ossia

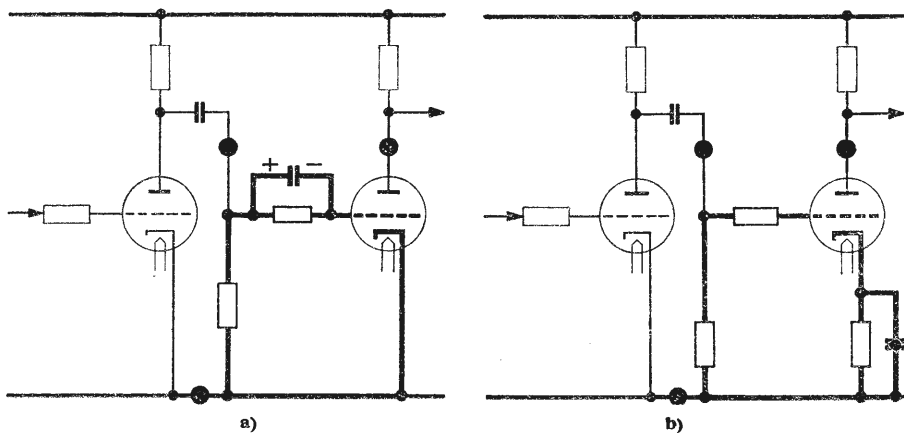


Fig. 15 - Polarizzazione automatica di griglia.

a) con condensatore ai capi della resistenza di griglia

b) con condensatore ai capi della resistenza catodica

In grassetto il circuito di polarizzazione

● Morsetti indicati per far risaltare il circuito illustrato.

il potenziale di griglia « a riposo » del tubo T 2 e da quello formato da R_3 - R_4 il « potenziale base » per T 3.

Nell'accoppiamento fra gli stadi di un amplificatore in c.a. è largamente usato il condensatore per la semplicità di applicazione. La fig. 14 illustra un esempio dove R_7 serve a « fugare » al catodo l'eventuale carica che possono accumulare in permanenza la griglia ed il condensatore, ostacolando il funzionamento.

Per ottenere il potenziale base di griglia in modo automatico negli amplificatori in c.a. si usa disporre un condensatore di valore opportuno ai capi della resistenza di griglia.

Durante le frazioni di tempo in cui la griglia risulta positiva rispetto al catodo, la griglia tende a funzionare da anodo e durante questi periodi (*) ai capi della resistenza di griglia compare una caduta che il condensatore, caricandosi, tende a mantenere nel tempo; siccome le polarità create ai capi della resistenza sono quelle indicate nella fig. 15-a, si deduce che la griglia, durante il funzionamento del tubo, viene portata ad un potenziale base permanente negativo rispetto al catodo.

Gli stessi risultati si ottengono col circuito di fig. 15-b.

(*) La resistenza serve appunto per limitare la corrente di griglia (che non è prevista per dissipare calore) quando la griglia è positiva rispetto al carico; il valore di questa resistenza è generalmente di 0,5 M Ω .

CAPITOLO IV.

ESEMPIO DI DUE STADI DI AMPLIFICAZIONE IN C. C.

Come esempio di stadi di amplificazione in c.c. prenderemo lo schema illustrato nella fig. 16; i due tubi sono i due elementi del doppio triodo 6SN7-GT le cui caratteristiche medie sono date dalla fig. 17.

Partiamo dal secondo stadio supponendo che il segnale di uscita sia applicato direttamente ad una griglia (impedenza infinita dato il valore estremamente basso delle correnti di griglia). La tensione anodica massima si ha per corrente anodica zero, perchè la caduta ai capi della resistenza anodica, R_{a2} , è nulla, ed è 210 V. La corrente anodica massima, ammesso

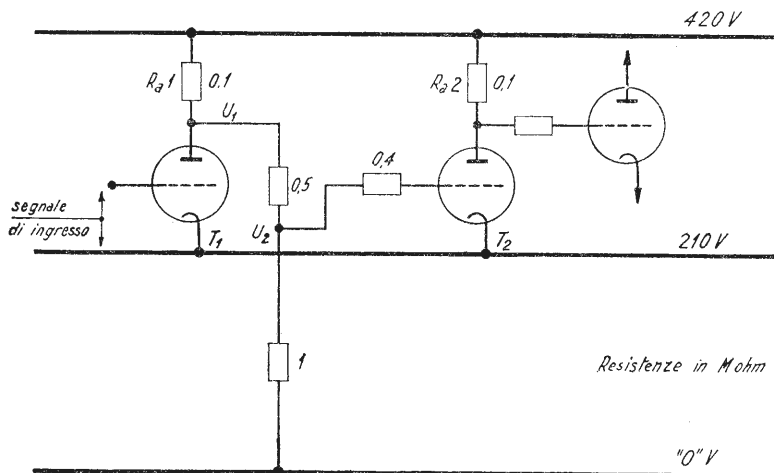


Fig. 16 - Due stadi di amplificazione ad accoppiamento diretto.

R_{a1} - Resistenza anodica del tubo T_1

U_1 - Potenziale anodico del tubo T_1

R_{a2} - Resistenza anodica del tubo T_2

U_2 - Potenziale di griglia del tubo T_2

che il tubo possa raggiungere la conduzione infinita, corrisponde a tensione anodica zero, ed è $210 \text{ V}/100\,000 \text{ ohm} = 2,10 \text{ mA}$. Riportando sul grafico di fig. 17 i due punti: $V_a = 210$; $i_a = 0$ e $V_a = 0$; $i_a = 2,10 \text{ mA}$, il segmento che li unisce è il luogo dei punti di funzionamento; il potenziale di interdizione è $V_{gi} = -13 \text{ V}$ (apprezzamento a vista). Non occorre riportare in grafico l'andamento i_a/V_g che si ricava dal segmento citato (fig. 18) perchè con un po' di pratica si vede subito che una variazione del potenziale di griglia da « 0 » a -10 V circa, esaurisce praticamente tutta l'escursione della corrente anodica; in ogni modo è opportuno che il prin-

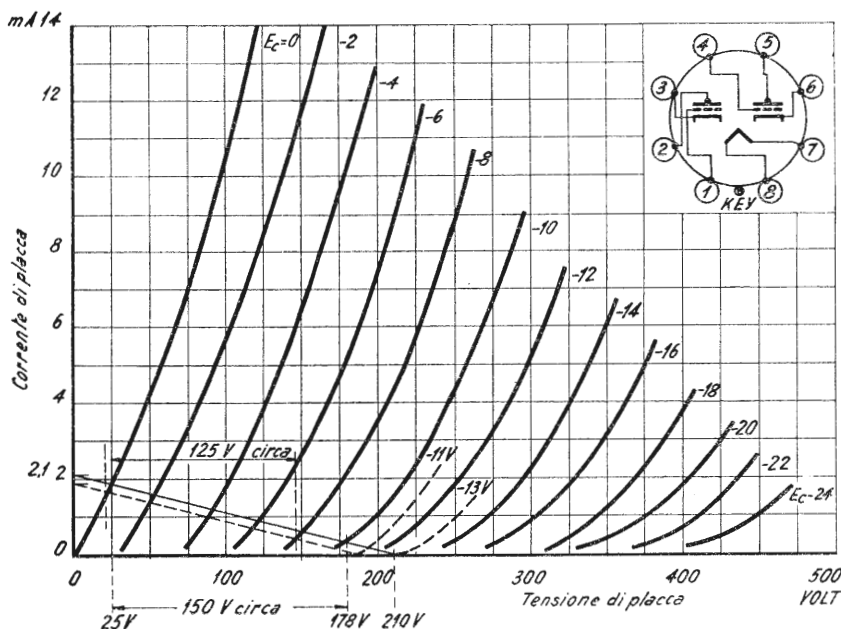


Fig. 17 - Curve caratteristiche relative al doppio triodo, tipo 6SN7-GT. Da tali curve sono stati ricavati gli elementi di progetto degli stadi di amplificazione indicati nella fig. 16.

KTEJ, denominazione inglese della tacca di riferimento per l'esatta posizione del tubo nello zoccolo. Gli estremi degli elettrodi sono indicati con numeri racchiusi entro circoletti e nello stesso ordine con il quale si presentano guardando il tubo dalla parte dei piedini.
 E_c - tensione di griglia

ciante esegua qualche « riporto » per impraticarsi a « vedere » l'andamento stesso.

Alla variazione di 10 V di V_g di cui si è detto, corrisponde una variazione della tensione anodica di circa 150 V ; la amplificazione di tensione è perciò: $150/10 = 15$ (media nel tratto considerato) e la tensione di griglia corrispondente al centro del tratto è: $V_{go} = -5 \text{ V}$.

Passiamo ora allo stadio precedente. Quando il tubo T_1 non conduce, la tensione anodica di questo tubo è 210 V meno la caduta ai capi di R_{a1}

dovuta al ramo collegato al cavo « 0 » V, ossia $210 - (420/1\ 600\ 000)$ $100\ 000 = 184\text{ V}$ circa e la corrente per R_{a1} è $0,26\text{ mA}$.

Se il tubo fosse portato a conduzione infinita, il cavo a 420 V dovrebbe fornire sia la corrente che attraversa il tubo che quella per il ramo collegato al cavo « 0 » (*perchè dal cavo a 210 V non può passare corrente verso il cavo « 0 » V per la unidirezionalità della conduzione del tubo*) e le due correnti sarebbero tali che la caduta ai capi di R_{a1} è 210 V .

Allora la corrente che attraversa R_{a1} è $210/100\ 000 = 2,1\text{ mA}$ di cui $210/1\ 500\ 000 = 0,14\text{ mA}$ per il ramo al cavo « 0 » V e $2,1 - 0,14 = 1,96\text{ mA}$ per il tubo; riportando poi sul grafico i punti $V_a = 184\text{ V}$; $I_a = 0$ e $V_a = 0$; $I_a = 1,96\text{ mA}$ otteniamo il segmento « luogo » dei punti di funzionamento del tubo T_1 con approssimazione largamente sufficiente allo scopo.

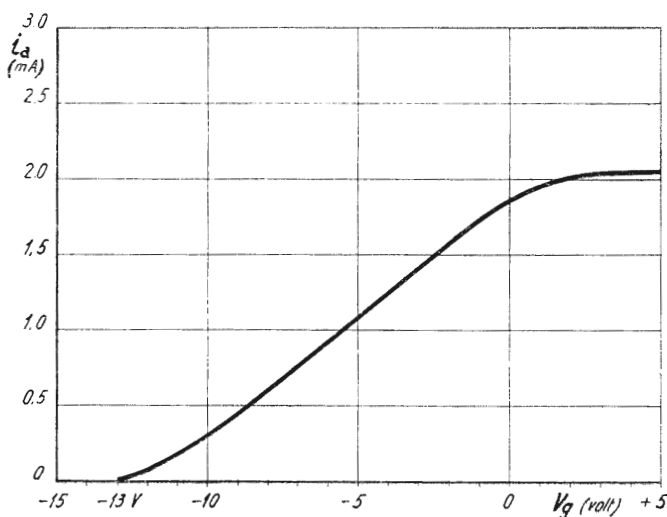


Fig. 18 - Caratteristica mutua statica del tubo T_2 , riportato nella fig. 16, ricavata dalle curve di fig. 17.

Il potenziale di interdizione è ora: -11 V circa e con lo stesso ragionamento precedente vediamo che una variazione di V_g da 0 a -8 V esaurisce praticamente l'escursione di I_a e che ad essa corrisponde una variazione di tensione anodica (V_a) pari a 125 V circa; la amplificazione media di tensione risulta infine: $125/8 = 15,6$ e la tensione media di griglia $V_{g0} = -4\text{ V}$ circa.

Per determinare la presa della griglia del tubo T_2 lungo la catena di resistenze tra il cavo a 420 V e quello a « 0 » V consideriamo la condizione media di funzionamento del tubo T_1 con $V_{g0} = -4\text{ V}$ cui corrispondono: $V_a = 90\text{ V}$; $I_a = 1\text{ mA}$ e ancora, supposto tutto lineare, $0,2\text{ mA}$ verso il cavo « 0 » V.

Per verifica confrontiamo il potenziale del punto U_1 a partire da 210 V

o da « 0 » V. Partendo da 210 V si ottiene $210 + 90 = 300$ V; partendo da « 0 » V si ottiene $0,0002 \cdot 1\,500\,000 = 300$ V. Come si vede, ad onta della approssimazione dei dati ricavabili dal grafico, la coincidenza sussiste.

Concludiamo perciò che, quando V_g di T_1 è uguale a -4 V il potenziale di U_1 è 300 V. A questo potenziale deve corrispondere -5 V della griglia di T_2 e perciò la « presa » per detta griglia deve essere fatta come indicato nella fig. 16 perchè: se $V_g(T_2) = -5$ V per $U_1 = 300$ V la presa deve corrispondere a $U_2 = 210 - 5 = 205$ V e siccome $U_2 : U_1 = X : 1\,500\,000$ ohm, risulta $X = (205/300) 1,5 = 1$ Mohm circa (esattamente 1,025 Mohm con un errore del 2,5 % che è trascurabile).

Da notare che la presa alla griglia di T_2 riduce $1/1,5$ l'amplificazione ottenuta con T_1 .

In conclusione, con i due stadi descritti, si ottiene una amplificazione totale $\Delta V_{a2} / \Delta V_{g1} = 15 \cdot 15,6 / 1,5 = 156$ e ciò significa che per ottenere una variazione di potenziale anodico del tubo (T_2) pari a 125 V basta variare la tensione di griglia del tubo (T_1) di 0,8 V circa attorno al valore di riposo (-4 V).

CAPITOLO V.

CIRCUITI ANTIPARALLELI

La caratteristica fondamentale dei tubi elettronici è, come si è detto, la conduzione a senso unico e quando è richiesto un segnale reversibile occorre usare degli artifici.

Il sistema più semplice consiste nell'usare due tubi collegati in modo che all'aumento del segnale di uscita del primo corrisponda la diminuzione del segnale di uscita dal secondo.

Facendo poi agire i due segnali in opposizione si può ottenere il segnale risultante, reversibile, richiesto. Per esempio: una amplidina può essere eccitata da un tubo a vuoto; per ottenere dalla amplidina una tensione di polarità qualsiasi, si prevedono due campi di eccitazione, alimentati in opposizione da due tubi connessi come accennato in precedenza.

Ai circuiti elettronici che consentono di ottenere due segnali variabili in senso opposto, daremo il nome, tanto per intenderci, di « circuiti (o coppie) antiparalleli ».

Quando il circuito è alimentato in c.a., l'uso di tali coppie è naturale perchè così si possono sfruttare le due semionde della tensione di alimentazione. Negli amplificatori in c.c. si usa spesso la coppia denominata in inglese « long tailed pair » che tradurremo col termine: « circuito a bilancia ».

Questo circuito consente, da un solo segnale di ingresso, di ricavarne due in uscita, variabili in senso opposto e soggetti alla stessa amplificazione.

Il circuito (fig. 19) è composto di due stadi; il segnale di entrata si applica alla griglia del tubo T_1 , mentre il tubo T_2 ha la griglia a potenziale fisso; comune ai due tubi è la resistenza catodica che provvede all'accoppiamento tra di essi.

Sugli anodi dei tubi sono indicate le resistenze R_{1a} ed R_{2a} , che rappresentano le utilizzazioni, le quali a loro volta possono essere due campi di una amplidina (fig. 20-a) o i campi di eccitazione di due sfasatori (fig. 20-c);

le uscite possono essere anche di tensione dagli anodi e servire per controllare i tubi di stadi successivi (fig. 20-b).

Da quanto esposto in precedenza possiamo dire che il circuito a bilancia è un amplificatore in c.c. a due stadi con uscita sull'anodo; il primo stadio prevede l'entrata dalla griglia e una uscita secondaria dal catodo; il secondo stadio prevede l'entrata dal catodo; il funzionamento è il seguente:

Il segnale in arrivo (fig. 19) alla griglia di T_1 produce una variazione concorde della corrente anodica (i_{a1}) e della caduta ai capi di R_k ; questa ultima a sua volta provoca una variazione opposta della tensione di griglia (V_{gk}) del tubo T_2 ossia della corrente anodica i_{a2} ; perciò i_{a1} varia in senso opposto ad i_{a2} in funzione della tensione di griglia del tubo T_1 come si vede nella fig. 21.

Il circuito tende a mantenere costante la somma $i_{a1} + i_{a2}$ perchè una

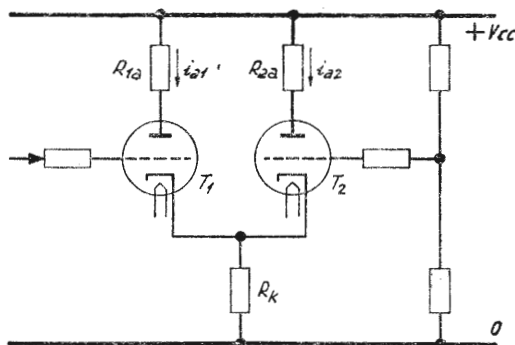


Fig. 19 - Circuito a bilancia.

T_1 - T_2 - Tubi a vuoto
 R_{1a} - R_{2a} - Resistenze anodiche

R_k - Resistenza catodica comune
 i_{a1} - i_{a2} - Correnti anodiche

variazione di pochi volt della caduta ai capi R_k basta per variare dal minimo al massimo la conduzione di T_2 ; i due tubi allora risultano funzionare nelle stesse condizioni amplificando in modo paragonabile il segnale di ingresso.

Lo schema base di una coppia antiparallela in c.a. è indicato nella fig. 22. Il trasformatore T_{r1} ha due secondari con presa centrale (S_1 ed S_2); S_1 alimenta i due tubi T_1 e T_2 , S_2 alimenta il reostato R . Muovendo il cursore di R , la tensione trasmessa alle griglie attraverso T_{r2} varia in ampiezza e può essere in fase con la tensione anodica di T_1 oppure di T_2 (fig. 23).

V_{cc} , fornita da altra sorgente, serve a modificare il potenziale base (o di riposo) delle griglie per ottenere l'incrocio degli andamenti i_{a1} ed i_a in funzione del cursore di R nel punto voluto (fig. 24).

La posizione del punto di incrocio delle curve $i_a/(R)$ è importante per l'amplificazione complessiva che si può ottenere; se il punto di incontro si

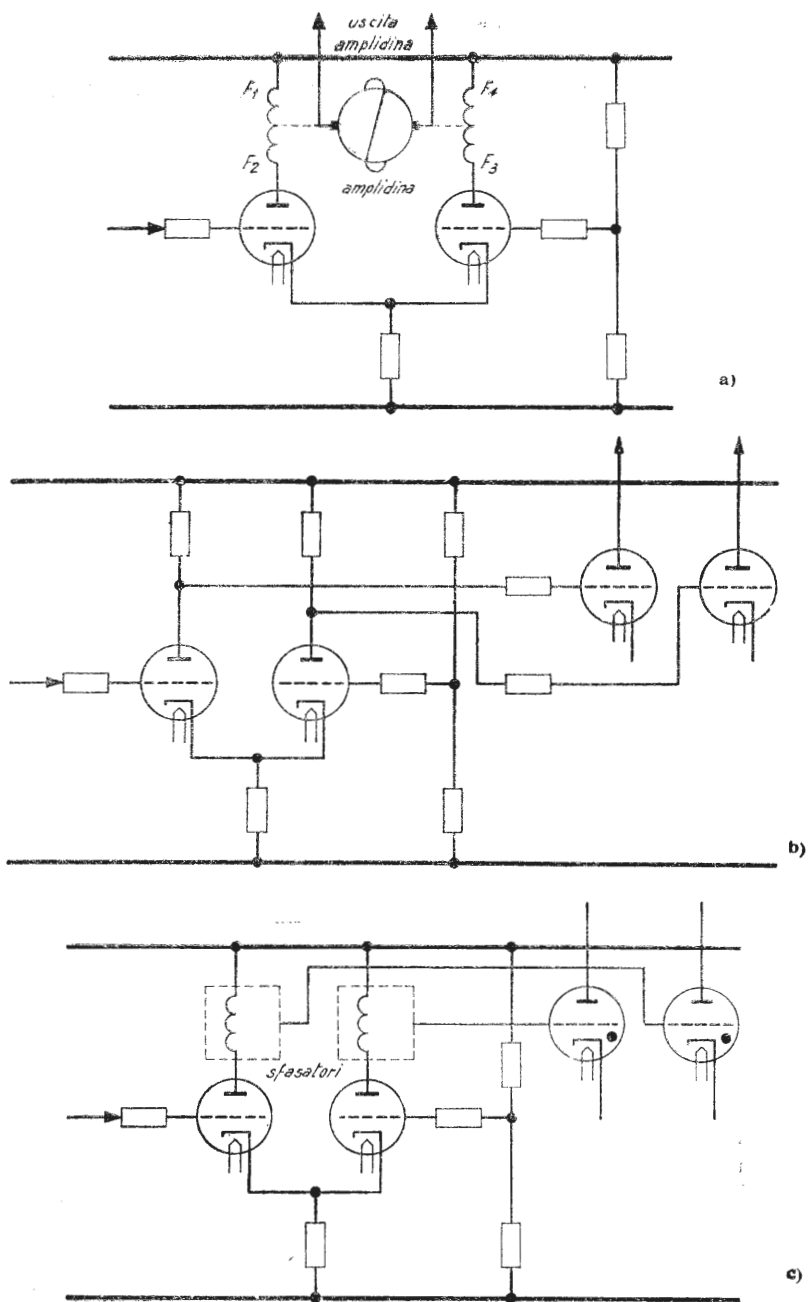


Fig. 20 - Esempi di impiego dei circuiti a bilancia.

a) Eccitazione differenziale di una amplidina

b) Alimentazione differenziale di due stadi amplificazione.

c) Eccitazione di sfasatori per tubi a gas

$F_1 - F_2 - F_3 - F_4$ - Morsetti dei campi della amplidina.

Una convenzione fissa la polarità della tensione di uscita della amplidina in base al senso della corrente di eccitazione dal morsetto dispari a quello pari e viceversa.

viene a trovare nella zona di maggior pendenza di queste curve, la amplificazione è massima.

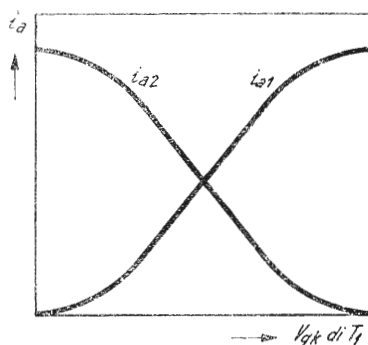


Fig. 21 - Andamento delle correnti anodiche i_{a1} ed i_{a2} di fig. 19 in funzione del segnale di griglia all'ingresso del tubo T_1 .

V_{gk} di T_1 - Segnale griglia/catodo del tubo a vuoto T_1 .

Il circuito di fig. 25 si potrebbe pensare come la trasposizione in corrente alternata del circuito a bilancia già descritto.

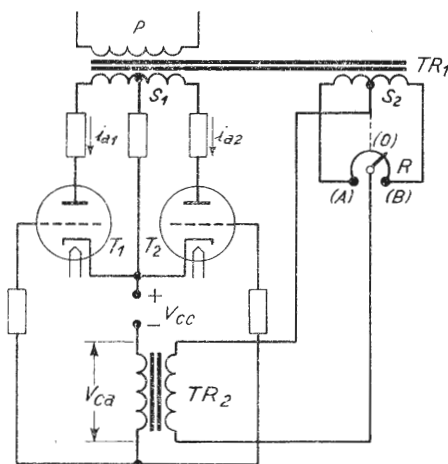


Fig. 22 - Schema base di un circuito antiparalelo in c.a.

TR_1 - Trasformatore principale
 P - Primario
 S_1, S_2 - Secondari
 i_{a1}, i_{a2} - Correnti anodiche
 T_1, T_2 - Tubi a vuoto

R - Reostato
 V_{cc} - Polarizzazione fissa della tensione di griglia
 V_{ca} - Componente alternata della tensione di griglia.
 TR_2 - Trasformatore di griglia.

T_r alimenta i circuiti anodici di T_1 e T_2 ; il potenziale di griglia di T_2 è dato da una componente fissa (V_{gf} , fornita da sorgente a parte) e da una

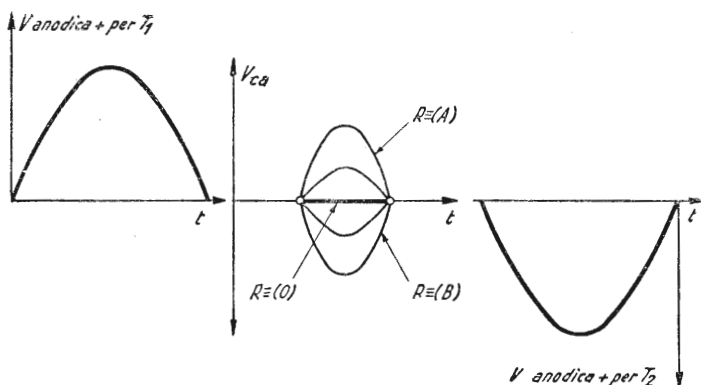


Fig. 23 - Rappresentazione delle tensioni anodiche dei tubi T_1 e T_2 di fig. 22 e della V_{ca} ottenibili muovendo il reostato R dall'estremo (A) all'estremo (B). Si vede che per R verso (A) V_{ca} è equiversa a V_a di T_1 e per R verso (B) V_{ca} è equiversa a V_a di T_2 .

V_{ca} - Componente alternata della tensione di griglia
 $R \equiv (A)$ - Cursore del reostato R all'estremo A
 $R \equiv (0)$ - Cursore del reostato R nel punto intermedio O
 $R \equiv (B)$ - Cursore del reostato R all'estremo B.

componente variabile (V_k); il potenziale di griglia di T_1 è dato dal segnale di ingresso (segnale pilota: V_p) e da V_k .

Quando $V_p = V_{af}$, i due tubi conducono in modo uguale e la corrente fornita da T_r si divide ugualmente per T_1 e T_2 . Ai morsetti del secondario del trasformatore anodico di uscita (T_{Ra}) non c'è tensione perchè le azioni di i_{a1} ed i_{a2} si elidono nel primario.

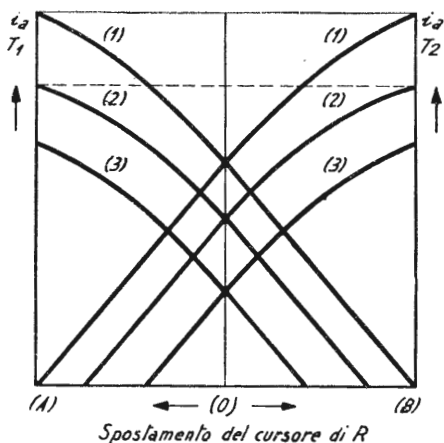


Fig. 24 - Andamento delle correnti anodiche dei tubi T_1 e T_2 di fig. 22 in funzione della posizione del reostato R e per alcuni valori di V_{cc} .

i_{a1} - Corrente anodica del tubo T_1
 i_{a2} - Corrente anodica del tubo T_2
 (1) (2) (3) curve riferentesi a valori $V_{cc1} - V_{cc2} - V_{cc3}$ della polarizzazione fissa di griglia.

Se $V_p > V_{gf}$, T_1 conduce più di T_2 , i_{a1} ed i_{a2} non si fanno equilibrio ed ai morsetti (A)-(B), di TRa compare un segnale.

Se $V_p < V_{gf}$ è T_2 che conduce di più ed il segnale ai morsetti (A)-(B) sarà di fase opposta al precedente; l'ampiezza del segnale, nei due casi, sarà funzione dello squilibrio tra i_{a1} ed i_{a2} .

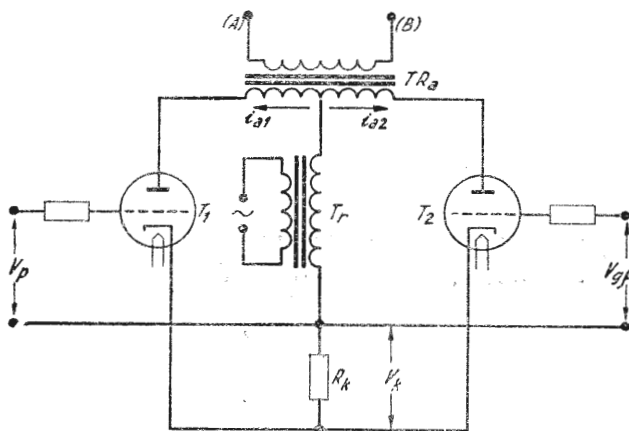


Fig. 25 - Stadio antiparallelo per amplificazione di c.a.

- TRa - Trasformatore anodico
- Tr - Trasformatore alimentatore
- T_1, T_2 - Tubi a vuoto
- V_p - Segnale pilota
- V_{gf} - Tensione fissa di griglia
- R_k - Resistore catodico
- V_c - Caduta ai capi di R_k .

Nota: Il segnale uscente ai capi di (A)-(B) è all'incirca sinusoidale e di ampiezza variabile con $(i_{a1} - i_{a2})$ in quanto i_{a1} ed i_{a2} sono semiperiodi di corrente unidirezionali e tale è $(i_{a1} - i_{a2})$; la forma d'onda è perciò composta da una componente continua, che non viene trasmessa da TRa , e da un certo numero di armoniche di cui la fondamentale ha la stessa frequenza della tensione che alimenta Tr e le altre, di frequenza multipla, sono praticamente eliminate per attenuazione.

CAPITOLO VI.

ESEMPIO DI CIRCUITO ANTIPARALLELO

Prendiamo come esempio lo schema di fig. 26 che comprende due tubi 6L6 (pentodi a fascio elettronico), collegati a triodo, i quali presentano le caratteristiche indicate nella fig. 27. Le condizioni di equilibrio si hanno evidentemente quando i potenziali delle due griglie (V_{g1} e V_{g2} se considerate rispetto il cavo « 0 ») sono uguali. In queste condizioni il punto di lavoro è rappresentato dalle coordinate:

$$\text{corrente anodica} = 24,4 \text{ mA}$$

$$\text{tensione anodica} = 76 \text{ V}$$

come si può facilmente verificare sapendo che:

1) per R_k passa $i = i_{a1} + i_{a2}$ e che $i_{a1} = i_{a2}$;

2) il potenziale di griglia comune sarà quello del tubo T_2 ossia:

$$V_{g2} = 320 \frac{0,3}{0,4} = 240 \text{ V};$$

3) lo schema equivalente per il solo tubo T_2 è dato dalla fig. 28 dove $R_k' = 2R_k$ e perciò il punto di lavoro va ricercato lungo la retta tratteggiata fig. 27.

Si ottiene così (dati approssimativi):

$$i_{a1} = i_{a2} = 24,4 \text{ mA}; \quad V_{gk1} = V_{gk2} = -4 \text{ V}; \quad V_k = 244 \text{ V}; \\ V_{ak1} = V_{ak2} = 320 - 244 = 76 \text{ V}.$$

Per calcolare altri punti della caratteristica i_{a1} , i_{a2} in funzione di V_{g1} :

1) Diminuiamo V_{g1} in modo che $V_k = 240 \text{ V}$ ossia in modo che $V_{gk2} = 0$; in questo caso, dovendo essere $V_{ak2} = 320 - 240 = 80 \text{ V}$,

Fig. 26 - Esempio di circuito a bilancia.

i_{a1} ; i_{a2} - Correnti anodiche
 R_k - Resistenza catodica
 V_{g1} ; V_{g2} - Potenziali di griglia rispetto il cavo «O»
 G_1 ; G_2 - Griglie pilota
 T_1 ; T_2 - Tubi elettronici

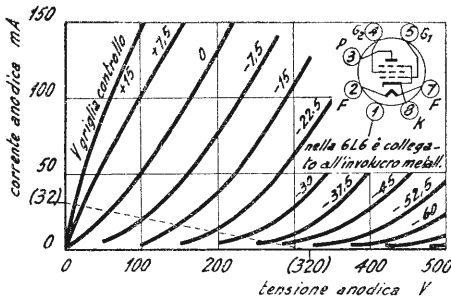
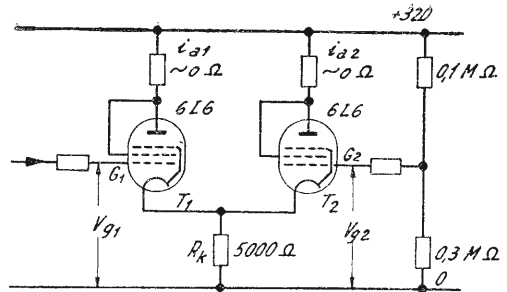
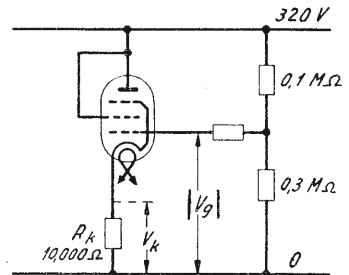


Fig. 27 - Caratteristiche anodiche del tubo a vuoto 6L6 (pentodo a fascio) collegato a triodo e schema del tubo con i piedini come risultano guardando dalla parte dello zoccolo.

G_1 - Griglie di controllo
 G_2 - Griglia schermo, collegata alla placca nel funzionamento come triodo

Fig. 28 - Schema equivalente per il tubo T_2 di fig. 26.

$|V_g|$ - Potenziale di griglia rispetto il cavo «O».
 R_k - Resistenza catodica equivalente ($= 2 R_k$ di fig. 26).



dalla fig. 27 si deduce $i_{a2} = 32$ mA e siccome $i_{a1} + i_{a2} = \frac{240}{5000} = 48$ mA, $i_{a1} = 48 - 32 = 16$ mA e, dalla stessa fig 27 si ricava $V_{gk1} = -5,3$ e $V_{g1} 240 - 5,3 = 234,7$ V.

2) Aumentiamo poi V_{g1} in modo che $V_k = 247,5$ ossia che $V_{gk2} = -7,5$; in questo caso $V_{ak2} = 320 - 247,5 = 72,5$ V e dalla fig. 27 si deduce $i_{a2} = 10$ mA; perciò, essendo $i_{a1} + i_{a2} = \frac{247,5}{5000} = 49,5$ mA si ottiene $i_{a1} = 49,5 - 10 = 39,5$ mA e, ancora, $V_{gk1} = +1,5$ V e $V_{g1} = 247,5 + 1,5 = 249$ V

I calcoli eseguiti si basano sulla approssimazione ottenibile dalla fig. 27 e possono essere ripetuti per altri valori di V_{gk2} ; riunendo i dati otteniamo la tabella 1.

Tabella 1.

V_{g1}	234,7 V	240 V	249 V
i_{a1}	16 mA	24,4 mA	39,5 mA
i_{a2}	32 mA	24,4 mA	10 mA
$i_{a1} + i_{a2}$	48 mA	48,8 mA	49,5 mA

Come si vede, la somma $i_{a1} + i_{a2}$ non si mantiene esattamente costante ma quasi; per ottenere una costanza quasi perfetta si può aggiun-

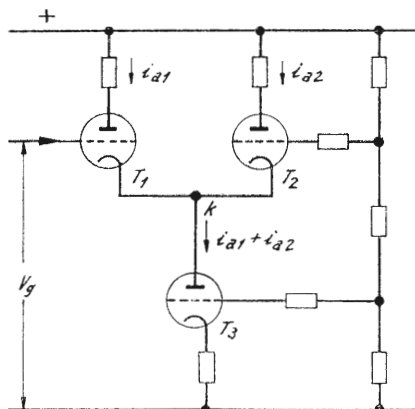


Fig. 29 - Schema di circuito a bilancia con tubo correttore.

- $T_1 - T_2 - T_3$ - Tubi a vuoto (T_3 = tubo correttore).
 k - Punto comune dei catodi di T_1 e T_2
 V_g - Segnale pilota di ingresso
 $i_{a1} - i_{a2}$ - Correnti anodiche.

gere un terzo tubo come indicato nella fig. 29 che funge da resistenza variabile, consentendo lo spostamento del potenziale del punto (K) senza che vari la somma delle due correnti ($i_{a1} + i_{a2}$) che attraversa il tubo stesso.

CAPITOLO VII.

CIRCUITI DI BLOCCO

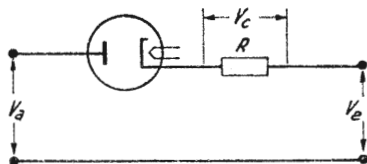
Nei circuiti industriali occorre spesso prevedere la limitazione di una grandezza a scopi protettivi (velocità, corrente di carico, ecc.) ossia l'intervento di un circuito, quando un segnale supera certi limiti.

Per ottenere quanto sopra si può sfruttare la unidirezionalità della corrente in un tubo, mettendo a confronto, tramite un diodo, la grandezza agente con la grandezza presa come base. Prendendo ad esempio la fig. 30, sino a che la tensione agente (V_a) non supera quella di paragone (V_e), il tubo non conduce ed ai capi di R la caduta è nulla; quando la tensione agente supera quella di confronto, il tubo conduce ed ai capi di R compare una tensione di caduta (V_c) che può essere utilizzata come segnale di intervento.

Un altro sistema utilizza il potenziale di interdizione di un tubo come termine di paragone. Osservando ad esempio la fig. 31, vediamo che la

Fig. 30 - Schema base di un circuito di blocco.

V_a - Segnale agente
 V_e - Segnale di paragone
 R - Resistenza
 V_c - Segnale di caduta.



griglia del tubo (T_2) è normalmente soggetta ad una tensione V_0 (fornita da una sorgente a parte) superiore a quella di interdizione. Del circuito di griglia fa anche parte un resistore in serie al generatore (G). Se la corrente di linea (I) è tale che la caduta V_I supera il potenziale di interdizione, il tubo conduce ed il segnale di uscita dal tubo può essere impiegato per agire su (G) in modo da bloccare l'ulteriore salita della corrente (I).

L'azione limitatrice si esplica di solito togliendo di mezzo il controllo principale; tale principio « di esclusione » è di interesse generale e viene molto usato quando vi sono più segnali di ingresso ed il funzionamento prevede una graduatoria della loro importanza.

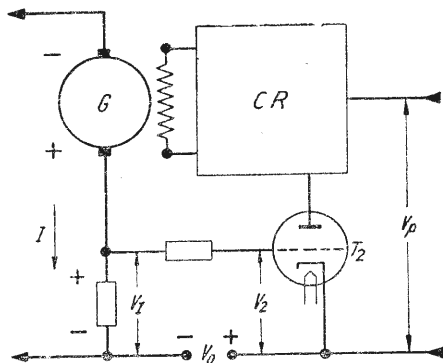


Fig. 31 - Particolare di un circuito di regolazione che illustra come si ottiene la limitazione della corrente erogata da un generatore.

- G - Generatore a c.c.
- CR - Circuito di regolazione
- V_p - Segnale di ingresso (pilota)
- I - Corrente di linea
- V_I - Caduta « segnale » di corrente
- V_0 - Tensione di griglia « a riposo » (porta T_2 all'interdizione)
- V_s - Segnale risultante di griglia
- T_2 - Tubo a vuoto

Nella fig. 32, per esempio, il segnale di uscita « V » è normalmente controllato dal segnale di ingresso V_p attraverso il tubo T_1 ; se però interviene il secondo segnale V_2 , per esempio di blocco, T_2 conduce assorbendo

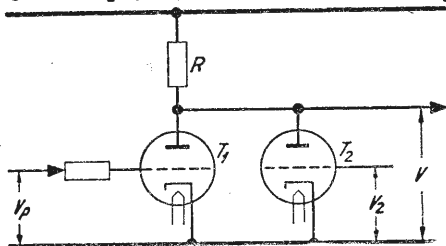


Fig. 32 - Funzionamento di un circuito limitatore.

- V_p - Segnale di ingresso
- R - Resistore
- T_1, T_2 - Tubi a vuoto
- V - Segnale trasmesso agli stadi successivi
- V_2 - Segnale di blocco.

corrente da R cosicchè V si porta praticamente a zero e non può essere più variato per mezzo della conduzione di T_1 .

(I simboli sono messi in relazione a quelli di fig. 31).

I circuiti di blocco, infine, possono essere completati da un elemento

predispositore che serve a tenerli vicini all'intervento. Per esempio, la limitazione di carico di un motore deve essere molto sollecita; d'altra parte quando un circuito funziona sotto il controllo del limitatore, presenta caratteristiche molto diverse che in funzionamento normale e richiede l'aggiunta di elementi stabilizzatori che introducano un certo ritardo nella risposta.

Per queste ed altre ragioni, che tralasciamo per semplicità, si collega la griglia del tubo limitatore ad un secondo tubo in modo da farla rimanere appena al di sotto del potenziale di interdizione. Nella fig. 33 il tubo T_3

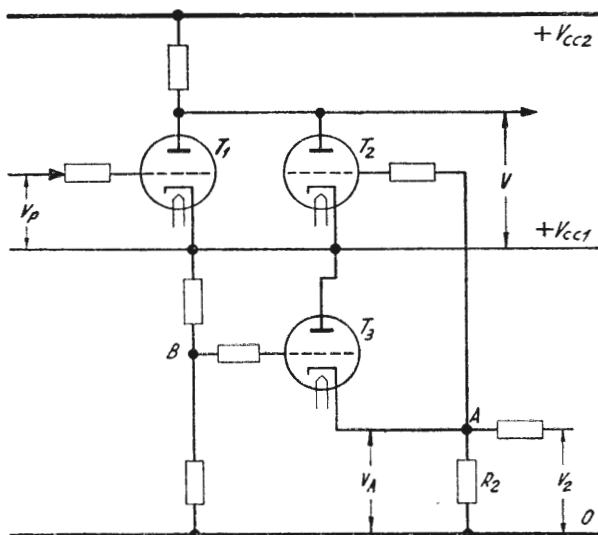


Fig. 33 - Circuito limitatore con «precondizionatore» ossia con potenziale griglia bloccato al limite di interdizione

- V_p - Segnale di ingresso
- V - Segnale trasmesso agli stadi successivi
- $V_{cc1}-V_{cc2}$ - Potenziali di alimentazione (positivi rispetto al cavo « 0 »)
- R_2 - Resistore
- V_2 - Segnale di blocco
- V_A - Tensione del punto (A) rispetto al cavo (0)
- T_1 - Tubo a vuoto amplificatore
- T_2 - Tubo a vuoto di blocco
- T_3 - Tubo a vuoto preconditionatore.

può condurre appena V_A diventa inferiore a V_{cc1} ed allora assorbe corrente attraverso R_2 «arrestando» la discesa del potenziale del punto « A » al valore scelto in base a quello del punto « B » che pilota T_3 in modo che il potenziale del punto (A) rimanga di poco al di sotto del potenziale di interdizione di T_2 . Nella fig. 34 è indicato, in funzione del segnale limitatore, il potenziale di griglia di T_2 ottenibile con circuito indicato dalla figura precedente; al tubo T_3 viene dato il nome di «precondizionatore».

Il sistema serve pure per ottenere un intervento netto anche con tubi (T_2 di fig. 33) il cui potenziale di interdizione non è ben determinato;

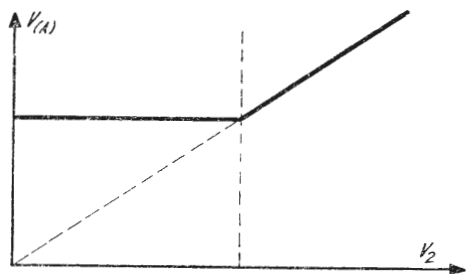


Fig. 34 - Funzionamento del circuito preconditionatore di fig. 33.

$V(A)$ - Tensione del punto A
 V_2 - Segnale di blocco (o limitatore)

infatti in ultima analisi è T_3 che fissa l'inizio dell'azione del segnale di blocco.

CAPITOLO VIII.

CIRCUITI A TEMPO

I circuiti a tempo servono per variare gradualmente un segnale secondo una legge generalmente lineare, o per ritardare un comando rispetto ad una operazione iniziale.

Per far raggiungere ad un motore a c.c. con partenza da fermo, ad esempio, la velocità di lavoro richiesta, si può applicare brutalmente il segnale di riferimento al circuito di regolazione ed alimentazione del motore e prevedere un circuito limitatore del carico che consenta al motore di accelerare senza assorbire una corrente pericolosa.

Se invece si preferisce una variazione di velocità più dolce e un tempo di accelerazione abbastanza lungo, si ricorre ad un circuito a tempo in modo che la tensione di riferimento salga lentamente secondo una legge predeterminata.

Il criterio generale adottato per ottenere variazioni graduali di un segnale si basa sul modo di caricarsi o scaricarsi di un condensatore attraverso una resistenza, illustrato nella fig. 35.

Quando il contatto (K) è aperto, a monte è misurabile la tensione V_1 mentre a valle del contatto e ai morsetti di uscita la tensione (V_2) è zero.

Chiudendo il contatto (K), la tensione (V_2) sale secondo la nota legge esponenziale:

$$V_2 = V_1 (1 - e^{-t/T}) \quad \text{dove } T = RC$$

(per R in ohm e C in farad, T è in secondi).

L'andamento presenta un tratto iniziale quasi rettilineo e poi si incurva perchè in teoria $V_2 = V_1$ dopo un tempo infinito.

I circuiti a tempo impiegati nella elettronica industriale differiscono a causa degli accorgimenti adottati per sfruttare il solo tratto rettilineo della caratteristica sopra indicata.

Il circuito più semplice è indicato nella fig. 36 che serve a far intervenire

il relè (X) dopo un certo tempo dalla apertura del contatto (K). La tensione V_0 rende negativa la griglia rispetto al catodo al di sotto del valore di interdizione e carica il condensatore (C); quando si apre « K » il condensatore si scarica attraverso (R) secondo la costante di tempo (RC) rialzando il

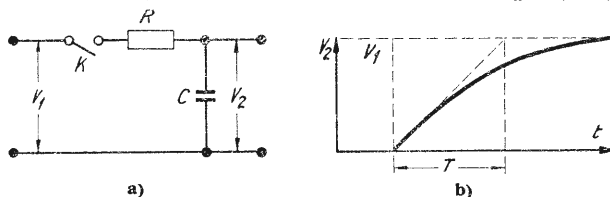


Fig. 35 - Carica di un condensatore attraverso una resistenza.

- a) - Circuito base
 b) - Andamento della tensione ottenuta
 V_1 - Tensione di ingresso
 V_2 - Tensione di uscita
 R - Resistenza
 C - Condensatore
 K - Contatto
 t - Tempo
 T - Costante di tempo (determinazione grafica dal rilievo di V_2 nel tempo)

potenziale di griglia sino a zero volt. Superato il potenziale di interdizione il tubo conduce e (X) si eccita (fig. 37) (*).

L'esempio dato si riferisce al ritardo che si desidera conferire all'in-

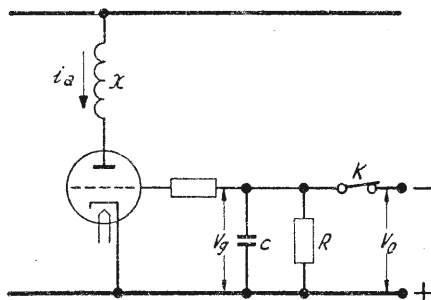


Fig. 36 - Esempio di circuito temporizzatore.

- i_a - Corrente anodica
 X - Bobina del relè
 V_g - Tensione di griglia
 K - Contatto
 V_o - Tensione di ingresso
 C - Condensatore
 R - Resistenza

tervento di un relè; ne indicheremo ora qualche altro riferentesi alla variazione graduale di un segnale.

(*) Nota: Il tubo a vuoto ha un potenziale di interdizione negativo e, quando la tensione griglia-catodo è zero, si trova generalmente ad un buon grado di conduzione.

Dimensionando opportunamente il circuito, e scegliendo di conseguenza il tubo, si può fare in maniera che (X) si ecciti certamente quando il fenomeno di scarica ha ancora un andamento quasi lineare, come è illustrato nella fig. 37.

La fig. 38 rappresenta l'ingresso di un circuito di regolazione, semplificato per lasciare i soli punti fondamentali, cui si richiede la variazione graduale della tensione (V) da circa 105 V al valore dettato dal reostato (R_v) a partire dalla apertura del contatto (L).

Quando il contatto (L) è chiuso, la griglia del tubo (T_1) è a 105 V e

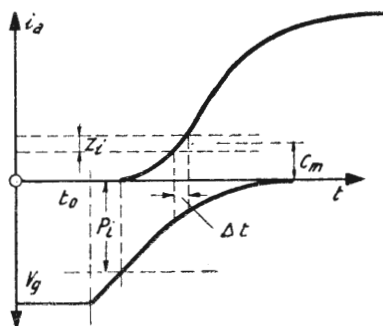


Fig. 37 - Andamento di V_g ed i_a di fig. 36 a partire dalla apertura del contatto K .

- i_a - Corrente anodica
- V_g - Tensione di griglia
- P_i - Potenziale di interdizione
- Z_i - Zona di incertezza all'eccitazione
- t_0 - Istante di apertura di K
- t - Tempo
- C_m - Corrente media di eccitazione del relè X
- Δt - Errore possibile nel tempo di intervento.

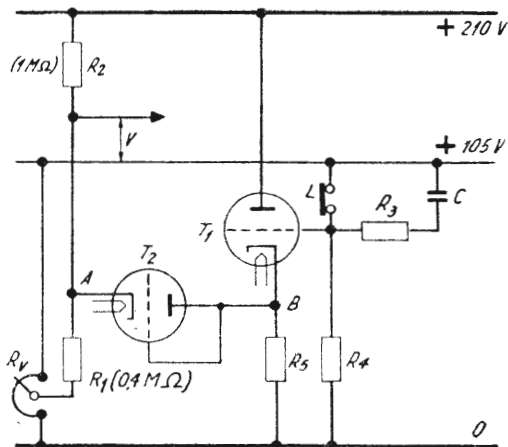


Fig. 38 - Esempio di circuito temporizzatore applicato all'ingresso di un amplificatore elettronico.

- R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 - Resistenze
- C - Condensatore
- R_v - Reostato
- T_1, T_2 - Tubi a vuoto
- L - Contatto
- V - Tensione pilotata (e quella di ingresso al 1° stadio di amplificazione non rappresentata nella figura).

per le caratteristiche del tubo e del circuito, il catodo (B) di (T_1) è a un potenziale leggermente superiore a 105 V.

La posizione del reostato R_v ed il valore di R_1 ed R_2 tendono a portare il punto (A) ad una tensione inferiore a 105 V (dai dati in figura (V) dovrebbe essere circa + 60 V rispetto il cavo zero col cursore di R_v in basso), ma il tubo (T_2) avendo l'anodo (B) positivo rispetto al catodo (A), conduce, e la corrente di conduzione, passando dal cavo (210), attraverso (T_1), (T_2), (R_1) ed (R_v) sino al cavo (O) aumenta la caduta attraverso (R_1) ed (R_v) per cui il punto (A) viene mantenuto ad un potenziale di poco inferiore a 105 V (la differenza di potenziale tra il catodo di (T_1) ed il punto (A) consente a (T_2) di esplicare la sua funzione).

Quando si apre il contatto (L), il condensatore (C) si carica a 105 V attraverso (R_3) ed (R_4) facendo diminuire gradualmente il potenziale della griglia di (T_1); in conseguenza di ciò si abbassa gradualmente anche il potenziale del catodo (B) di (T_1) e, attraverso (T_2), anche il potenziale del punto (A).

La diminuzione del potenziale del punto (A) termina quando $V = 60$ V; (rispetto il cavo "O,,"); da questo momento il potenziale del catodo di (T_1) continua a diminuire mentre il tubo (T_2), trovandosi col catodo più positivo del l'anodo, cessa di condurre «interrompendo» il collegamento tra (A) e (B). Si ottiene così che (A) è «guidato» sfruttando il solo tratto più o meno rettilineo del periodo di carica di (C).

(Nota: R_3 serve a limitare la corrente di scarica di (C) quando (L) viene chiuso per riprendere in un successivo momento le operazioni precedentemente descritte).

Durante la carica di (C), il catodo di (T_1) «segue» la griglia perchè questa diminuisce di potenziale e (T_1) conduce sempre di meno; diminuisce perciò la caduta ai capi di (R_5).

Quando si vuole guidare il potenziale di un punto sia in aumento che in diminuzione si adotta lo schema fondamentale di fig. 39, costituito da quattro diodi.

Le condizioni di equilibrio sono dettate dal reostato (R) il quale, attraverso (T_2) e (T_4) mantiene i punti (e) ed (f) praticamente al potenziale (a). Infatti se per esempio (e) aumenta di potenziale, (T_2) conduce di più ed aumenta la caduta dai capi i R_3 .

Anche il punto (b) è mantenuto circa allo stesso potenziale di (e) e di (f) ossia del punto (a); infatti, se, per es., il potenziale di (b) scende sotto quello di (e) (perchè il condensatore si scarica) (T_1) conduce e assorbe corrente attraverso (R_3), ricaricando il condensatore.

Supponiamo ora di spostare rapidamente il cursore di (R) verso l'estremo superiore; (T_2) si blocca perchè il catodo diviene più positivo dell'anodo, (T_4) conduce di più aumentando la caduta ai capi di (R_4) ed elevando perciò il potenziale del punto (f); diminuendo l'assorbimento di (R_3), inoltre, aumenta il potenziale di (e), «seguito» da (b) attraverso (T_1) che conduce di più; la salita del potenziale di (b) è dettata dalla costante di tempo

(R_3C) e continua sino a che si raggiunge il nuovo equilibrio in cui i potenziali di (a) e (b) si equivalgono.

Il fenomeno è lineare o quasi e si arresta bruscamente al nuovo equilibrio perchè, durante la carica, il condensatore è sollecitato dalla tensione tra (d) e (g) = V_{cc} , ossia il punto (b) tende a portarsi al potenziale di (g); quando però raggiunge il potenziale di (a) intervengono i tubi (T_1) e (T_2) arrestando la carica.

Dagli esempi descritti risulta perciò che il sistema per rendere lineare la variazione della grandezza consiste nel cominciare a caricare (o scari-

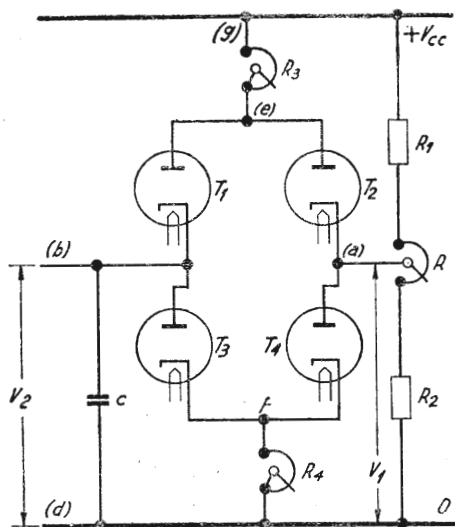


Fig. 39 - Circuito temporizzatore continuo in aumento ed in diminuzione.

- V_{cc} - Tensione di alimentazione
- $T_1-T_2-T_3-T_4$ - Diodi a vuoto
- C - Condensatore
- R_3-R_4 - Reostati di calibrazione del tempo di « salita » o « discesa » di V_2
- V_1 - Tensione di ingresso
- V_2 - Tensione di uscita
- R - Reostato di riferimento
- R_1-R_2 - Resistenze.

care) un condensatore entro un intervallo di potenziale superiore al richiesto ed arrestare l'operazione bruscamente utilizzando la conduzione unidirezionale di uno o più tubi a vuoto. Da notare che il potenziale del cursore di R è limitato dalla caduta di R_1 ed R_2 che servono a stabilire i valori massimo e minimo di V_2 .

Spostando il cursore del reostato, anche bruscamente, all'estremo inferiore, si ha il funzionamento inverso, nel quale (T_3), (T_4) ed (R_4) si sostituiscono a (T_1), (T_2) ed (R_3) precedenti; la costante di tempo in gioco è ora (CR_4); il potenziale che (b) raggiungerebbe, se non intervenissero i tubi, sarebbe zero, ossia quello del punto (d).

CAPITOLO IX.

TUBI A VUOTO (DIODI) COME RADDRIZZATORI

Vogliamo ora accennare all'impiego dei diodi a vuoto come raddrizzatori, senza però insistere molto nella spiegazione perchè riteniamo trattarsi di schemi ormai noti a chiunque si interessi di elettronica in generale ed anche perchè ritorneremo meglio sull'argomento parlando dei tubi a gas.

La unidirezionalità della conduzione dei tubi elettronici viene sfruttata per ottenere correnti continue o meglio, a senso unico, da tensioni alternate.

Il circuito più semplice è quello di fig. 40-a, detto « raddrizzatore a mezza onda » (oppure: ad una semionda) nel quale abbiamo supposto per semplicità che il carico sia puramente resistivo (ohmico). La corrente può passare solo durante i semiperiodi in cui la placca è positiva e perciò le forme d'onda della tensione di alimentazione e della corrente che attraversa il carico (ossia della tensione ai capi del carico ohmico) sono indicate nella fig. 40-b.

Con due diodi od un doppio diodo, si ottiene invece un « raddrizzatore a due semionde » (fig. 41-a) con il quale ambedue i semiperiodi della tensione c.a. applicata possono far passare corrente nel carico (che nella figura è supposto puramente ohmico).

(Nota: La tensione agente in ogni semiperiodo è $V_s/2$ a causa della presa al centro del secondario del trasformatore.)

Nella fig. 41-b sono indicate le forme d'onda risultanti.

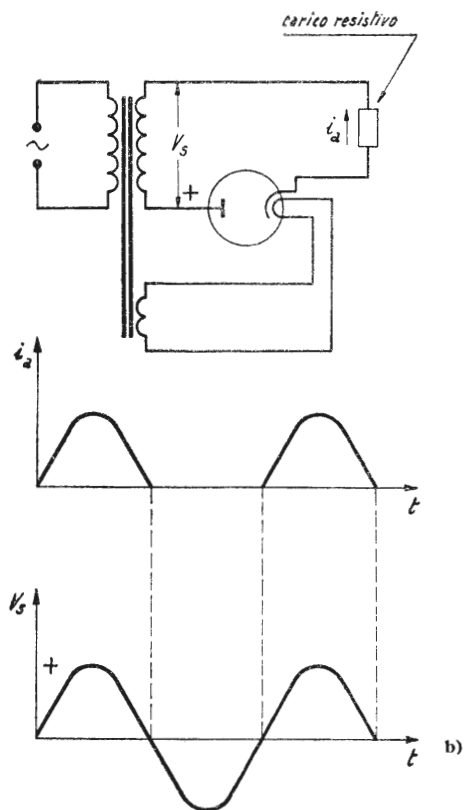


Fig. 40 - Schema di un raddrizzatore ad una semionda (a) e relativi diagrammi della tensione e della corrente su carico resistivo (b).

V_s - Tensione anodica
 i_a - Corrente anodica
 - Tempo

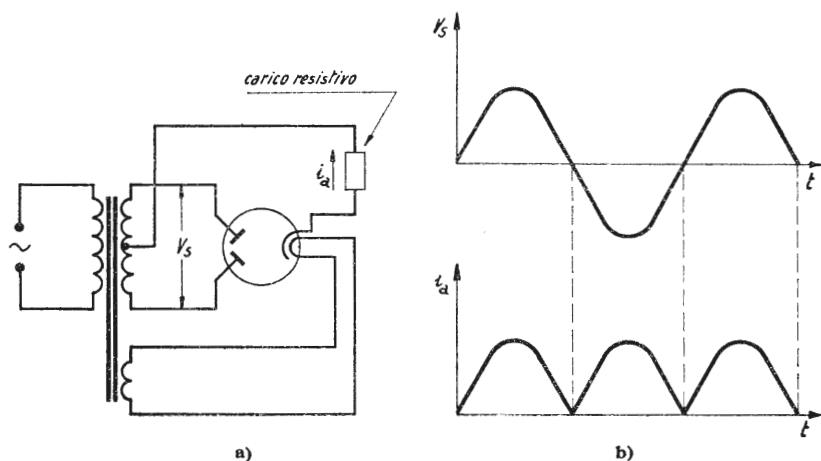


Fig. 41 - Schema di un raddrizzatore a due semionde (a) e relativi diagrammi della tensione e della corrente su carico resistivo (b).

V_s - Tensione anodica

i_a - Corrente anodica

- Tempo

PARTE III

CIRCUITI CON TUBI A GAS

CAPITOLO I.

FUNZIONAMENTO DEI TUBI A GAS (*)

Si è già detto in precedenza che in un tubo a gas la griglia serve solo per comandare l'accensione del tubo e che per spegnere un tubo « acceso » occorre interrompere o invertire la tensione anodica, perchè l'azione della griglia viene, diremo così, sopraffatta dall'arco.

Il funzionamento di un tubo a gas assomiglia perciò a quello di un relè e quando il circuito anodico è alimentato in c.a., ad ogni semiperiodo in cui l'anodo è positivo rispetto il catodo la griglia serve a ritardare più o meno l'accensione del tubo; di conseguenza, il carico sarà sottoposto a impulsi di corrente unidirezionali più o meno brevi.

Potremo dunque dire che i tubi a gas funzionano generalmente come raddrizzatori a erogazione controllabile per mezzo della griglia.

Le caratteristiche di un tubo a gas che indica, per ogni valore della tensione anodica la tensione di griglia che lo può accendere è mostrata nella fig. 42-a e per scopi illustrativi può essere stilizzata secondo la fig. 42-b.

La zona di incertezza tien conto delle differenze fra tubo e tubo e delle condizioni di funzionamento possibili (e in primo luogo del e differenti temperature di lavoro).

(*) Parecchi dei concetti esposti in questo capitolo sono stati tratti dal manuale « *Tubi elettronici nell'industria* » dello stesso Autore. Si è ritenuto opportuno ripeterli in questa sede per comodità del lettore al fine di non obbligarlo a fastidiose ricerche.

Se alimentiamo il tubo in c.a., usando la caratteristica di fig. 42-b, possiamo riportare sullo stesso profilo la semionda positiva della tensione anodica e i valori, punto per punto, della tensione di griglia occorrente per

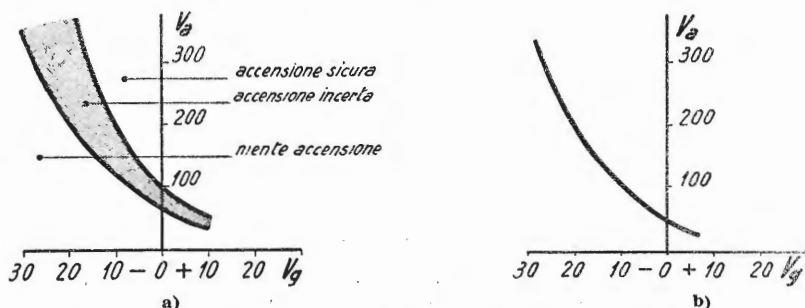


Fig. 42 - Caratteristiche di funzionamento di un tiratrone (a) e andamento stilizzato delle stesse (b).

V_a - Tensione anodica
 V_g - Tensione di griglia.

la accensione e otteniamo così la fig. 43 che ci sarà utile per illustrare come si pilota un tubo a gas alimentato in c.a.

Per pilotare un tubo a gas alimentato in c.a. si applica tra griglia e catodo una tensione che risulta dalla sovrapposizione di una componente continua e di una componente alternata (di frequenza uguale alla tensione anodica).

Il segnale alternativo o componente alternativa di griglia, è prelevato

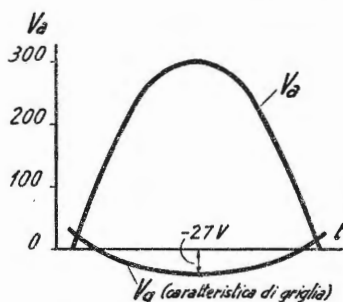


Fig. 43 - Rappresentazione di un semiperiodo di tensione e della corrispondente caratteristica di griglia che indica la tensione minima di griglia bastante per l'accensione del tubo a gas ed è ricavabile dalle caratteristiche di fig. 42-b.

V_a - Tensione anodica
 V_g - Tensione di griglia
 t - Tempo.

dalla stessa sorgente che fornisce la tensione anodica e l'artificio consente di ottenere il pilotaggio richiesto con due sistemi fondamentali:

a) componente alternata costante e con sfasamento fisso; componente continua variabile;

b) componente alternata costante e con sfasamento variabile; componente continua fissa.

Ambedue i sistemi si possono illustrare considerando la fig. 43, dove assieme al semiperiodo di possibile conduzione del tubo, è riportata la *caratteristica di griglia*, ossia la curva che riunisce i valori minimi della tensione tra griglia e catodo (relativi ai valori istantanei della tensione anodica) che consentono la accensione del tubo (zona di incertezza supposta nulla).

Se riportiamo nella figura anche la tensione di griglia, come risulta applicando il primo sistema cui si è accennato, otteniamo la fig. 44, e si vede che, variando la componente c.c. del segnale di griglia, si sposta

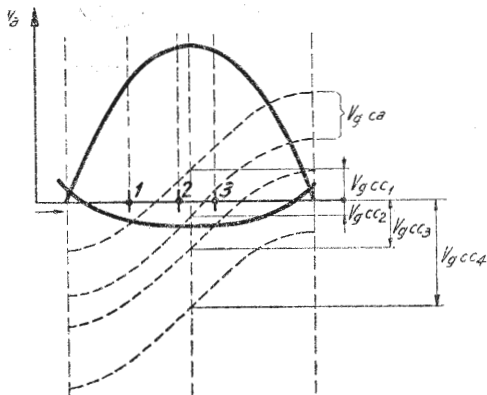


Fig. 44.

Fig. 44 - Funzionamento di un tiratrone con controllo di griglia «verticale».

V_g c.c. 1, 2... - Valori della componente continua di V_g

V_g c.a. - Componente alternata di V_g

V_a - Tensione anodica

Per V_g c.c. = V_g c.c. 4 il tubo non conduce, Per V_g c.c. = V_g c.c. 3; = V_g c.c. 2; = V_g c.c. 1. il tubo si accende rispettivamente negli istanti 3, 2, 1.

Fig. 45 - Collegamento di un tiratrone per controllo di griglia «verticale».

V_g c.c. - Componente continua della tensione di griglia

V_g c.a. - Componente alternata della tensione di griglia.

C - Carico

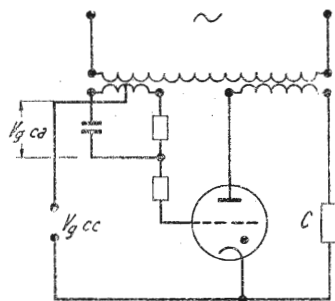


Fig. 45.

l'istante in cui il segnale stesso taglia la caratteristica di griglia ossia l'istante in cui il tubo si accende. In conclusione, variando la tensione continua, l'angolo di conduzione varia, come si può osservare nell'esempio di fig. 44. Chiameremo questo sistema: a sfasamento fisso oppure: a *pilotaggio verticale*.

Nella fig. 45 è rappresentato lo schema base per questo tipo di controllo.

Il secondo sistema è invece illustrato nella fig. 46; la componente continua del segnale di griglia in questo caso è fissa; varia invece lo sfasamento della componente alternativa, ritardando più o meno l'istante di accensione.

Chiameremo questo sistema: a sfasamento variabile oppure: a *pilotaggio orizzontale*.

Nella fig. 47 è rappresentato lo schema base per questo tipo di con-

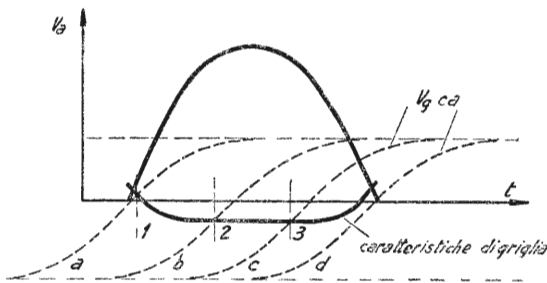


Fig. 46.

Fig. 46 - Funzionamento di un tiratrone con controllo di griglia « orizzontale ».

V_a - Tensione anodica
 t - Tempo
 V_g c.a. - Tensione alternata di griglia.

Se lo sfasamento corrisponde alla curva « d », il tubo non si accende. Se lo sfasamento corrisponde alle curve « a », « b », « c », il tubo si accende rispettivamente negli istanti 1, 2, 3. (La componente V_g c.c. è supposta nulla).

Fig. 47 - Collegamento di un tiratrone per il controllo di griglia « orizzontale ».

V_g c.c. - Potenziale base di griglia (nella fig. 46 si suppone V_g c.c. = 0)
 R_s - Reattore saturabile C - Carico.

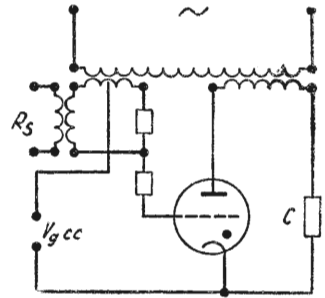


Fig. 47.

trollo; mentre nella fig. 48 abbiamo indicato l'andamento qualitativo della corrente anodica.

Per ottenere lo sfasamento tra tensione anodica e componente alternata del segnale di griglia si usano vari schemi, tutti basati sul principio indicato dalla fig. 49.

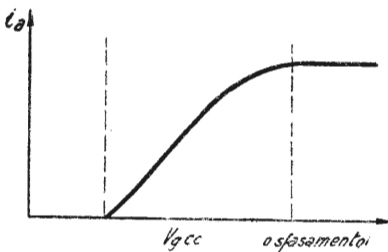


Fig. 48 - Corrente anodica media su carico ohmico al variare della componente continua della tensione di griglia (fig. 45), o dello sfasamento di questa tensione (fig. 47).

i_a - Corrente anodica media
 V_g c.c. - Componente continua della tensione di griglia.

Il secondario che fornisce la componente alternata di griglia è collegato ad un condensatore fisso in serie ad una resistenza e la componente stessa è ricavata tra il centro del secondario ed il cavetto che collega il condensatore alla resistenza.

Come è noto, la caduta ai capi del condensatore è sfasata di 90° ri-

spetto alla caduta ai capi della resistenza (supposto che gli elementi siano perfetti) e tale sfasamento rimane qualunque sia il valore della resistenza; d'altra parte la somma vettoriale delle cadute è costante (la tensione ai

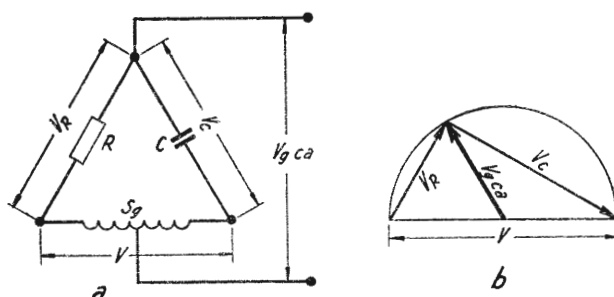


Fig. 49 - Schema base di uno sfasatore (a) e relazioni vettoriali delle tensioni in uno sfasatore (b).

V - Tensione c.a. del secondario del trasformatore di griglia
 V_R - Tensione c.a. ai capi della resistenza
 V_C - Tensione c.a. ai capi del condensatore
 V_{gca} - Tensione c.a. applicata tra griglia e catodo
 S_g - Secondario del trasformatore di griglia.

capi del secondario) e per un noto teorema di geometria il vettore-tensione del punto comune al condensatore e alla resistenza percorre un semicerchio di cui il vettore-tensione del secondario rappresenta il diametro (fig. 49-b).

A causa di quanto sopra la tensione prelevabile tra il centro del secondario (centro del cerchio nella rappresentazione geometrica delle tensioni) ed il citato punto comune, al variare della resistenza, rimane di ampiezza costante e varia solo la sua fase rispetto la tensione ai capi del secondario.

In generale, quando si adotta il pilotaggio « verticale » lo sfasatore è formato da un condensatore e da una resistenza fissa, calcolati in modo che la componente alternativa del segnale di griglia sia sfasata di 90° in ritardo rispetto la tensione anodica ossia:

$$R_\Omega = \frac{1}{\omega C_F}$$

dove R è in ohm e C in Farad.

Quando invece si adotta il pilotaggio « orizzontale » si usa una resistenza fissa e un reattore saturabile (che sostituisce il condensatore precedente) per i quali si possono ripetere le considerazioni fatte in precedenza sulla combinazione condensatore fisso-resistenza variabile (fig. 50).

I sistemi descritti presentano qualche inconveniente a causa della zona di incertezza trascurata per semplificare la spiegazione; per questa ed altre ragioni, che tralasciamo per semplicità, si è apportata qualche modifica al sistema

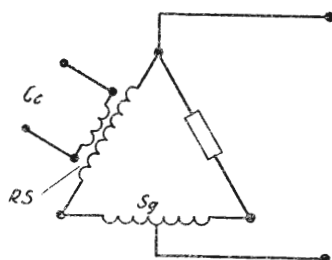


Fig. 50 - Schema di uno sfasatore con reattore saturabile.

RS - Reattore saturabile
 C_c - Corrente di controllo
 S_g - Secondario del trasformatore di griglia.

di pilotaggio orizzontale, deformando la componente alternativa in modo da imporre un « fronte ripido » che per la sua verticalità e per la sua ampiezza porta, al momento voluto, il tubo in zona di sicura accensione,

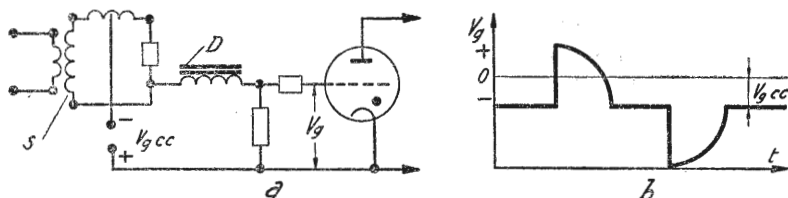


Fig. 51 - Reattore deformatore aggiunto a uno sfasatore orizzontale (a) e forma d'onda della tensione di griglia dovuta al reattore deformatore (b).

V_g c.c. - Polarizzazione fissa di griglia (componente continua di V_g)
 V_g - Tensione di griglia
 t - Tempo
 D - Deformatore.
 S - Reattore saturabile

anche quando la tensione di rete varia entro un certo campo (generalmente $\pm 10\%$).

Per illustrare il principio ci si può riferire alla fig. 51, nella quale si vede che la tensione di griglia a sfasamento variabile è applicata alla griglia attraverso un reattore saturabile ed una resistenza. Il reattore è tale che si satura per un quarto di semiperiodo; prima della saturazione, ai capi della resistenza, la componente alternativa è praticamente nulla, ma quando il reattore si satura, la sua impedenza cade praticamente a zero ed ai capi della resistenza compare istantaneamente la componente alternativa.

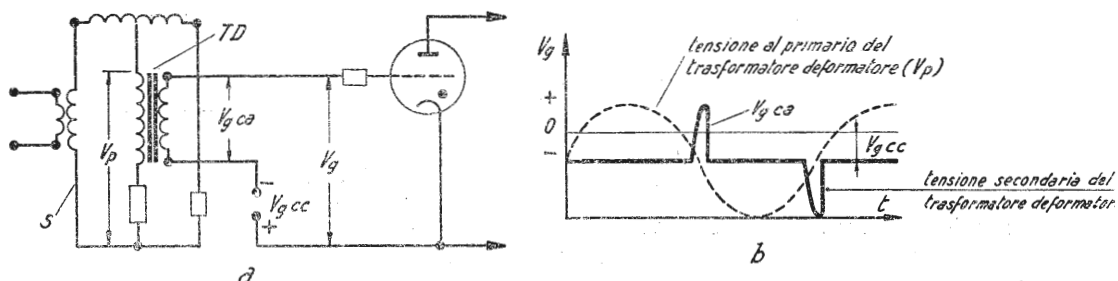


Fig. 52 - Trasformatore deformatore aggiunto ad uno sfasatore orizzontale (a) e forma d'onda della tensione di griglia dovuta al trasformatore deformatore (b).

V_p - Tensione sfasata al primario
 V_g c.c. - Polarizzazione fissa di griglia
 V_g c.a. - Componente alternata della tensione di griglia (tensione sfasata e deformata a secondario)
 V_g - Tensione di griglia
 t - Tempo
 TD - Trasformatore deformatore
 S - Reattore saturabile

Altro sistema consiste nel comandare la accensione mediante impulsi che abbiano la durata appena sufficiente per ottenere la accensione del tubo (tempo di ionizzazione). La fig. 52 illustra un esempio di applicazione

di tale sistema. Il trasformatore saturabile che collega lo sfasatore alla griglia si può considerare un trasformatore con poco ferro rispetto la tensione applicata al primario; la variazione di flusso si verifica perciò per una piccola aliquota del periodo della tensione alternativa applicata (nell'intorno delle sue inversioni di polarità) e provoca nel secondario degli impulsi di tensione che vengono applicati alla griglia. Gli impulsi devono avere una durata che consenta l'accensione del tubo e perciò basta che siano di poco più duraturi del tempo di ionizzazione.

Ambedue i sistemi si applicano, si intende, con i controlli « orizzontali ».

CAPITOLO II.

RADDRIZZATORI CONTROLLABILI AD UNA SEMIONDA

I circuiti che impiegano i tubi a gas sono generalmente gli stadi di potenza di un servomeccanismo; questi stadi provvedono a manipolare la potenza disponibile dalla rete di alimentazione in c.a. in base ai segnali che provengono dai circuiti di regolazione ed a fornire potenza al carico che la utilizza direttamente (per es.: negli impianti di elettrolisi) oppure attraverso macchine rotanti (per es.: motori a c.c. alimentati da tubi a gas).

Siccome negli impieghi cui abbiamo accennato, i tubi a gas funzionano essenzialmente da raddrizzatori di corrente alternata in corrente continua controllabili o no con griglie, noi illustreremo il comportamento dei tubi stessi in tale funzione.

L'azione di un raddrizzatore consiste nell'ottenere una corrente unidirezionale da una tensione alternata; si può anche dire che un raddrizzatore distribuisce al carico le successive semionde della tensione alternativa proveniente dalla sorgente, in modo che esse agiscono sul carico stesso sempre con la stessa polarità.

Nei raddrizzatori ad una semionda si impiega solo un tubo a gas e vengono utilizzate solo le semionde della tensione di alimentazione che rendono positivo l'anodo rispetto al catodo.

La fig. 53-a rappresenta lo schema base di tali raddrizzatori e prevede l'eventuale comando di griglia.

Se il carico è ohmico, la corrente ha forma sinusoidale ed è costituita da tanti semiperiodi in fase con quelli di tensione che li provocano. Se limitiamo l'angolo di conduzione per mezzo della griglia, ossia, come si suole anche dire, «parzializziamo» la conduzione, la forma d'onda assume l'aspetto indicato nella fig. 53-b; durante l'angolo di conduzione la corrente è ancora in fase con la tensione che la genera.

(Nota: Le forme d'onda che stiamo descrivendo sono visibili all'oscilloscopio collegato in modo opportuno).

Se il carico è più o meno induttivo (comprendiamo nel carico anche l'eventuale impedenza della sorgente), la forma d'onda è influenzata dalla costante di tempo $T = L/R$ (R in ohm; L in henry; T in secondi), cioè dalla inerzia elettromagnetica del circuito.

A causa di questa inerzia, la corrente, in un primo tempo, cresce più

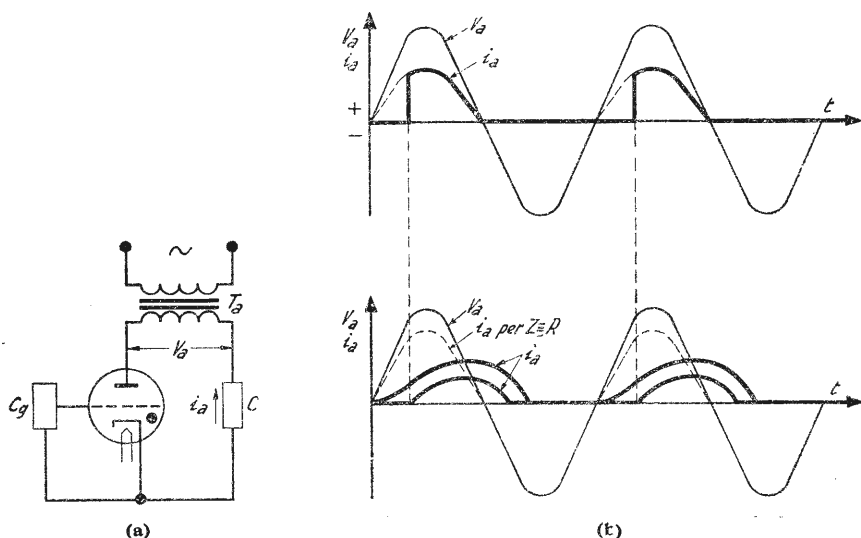


Fig. 53-a - Schema base di un raddrizzatore a 1/2 onda con tubo a gas pilotabile con griglie.

T_a - Trasformatore anodico
 V_a - Tensione anodica
 i_a - Corrente di carica
 C - Carico
 C_g - Controllo di griglia

Fig. 53-b - Andamento di i_a della fig. 53-a.

In alto, nel caso che il carico sia una resistenza pura (in grassetto: i_a in presenza di parzializzazione).

In basso nel caso che l'impedenza del carico (Z) comprenda anche un'induttanza (in grassetto: i_a con e senza parzializzazione)

V_a - Tensione anodica
 i_a - Corrente anodica
 t - Tempo

lentamente di quando il carico è puramente ohmico e quando la tensione anodica ripassa per lo zero invertendosi, continua a scorrere vincendo la tensione inversa, per smaltire l'energia elettromagnetica accumulata durante il semiperiodo positivo della tensione anodica. In conclusione la corrente ha ora l'andamento qualitativo della fig. 53-b (in basso) che lo rappresenta sia nel caso « con parzializzazione » di griglia che nel caso di conduzione massima per fare il confronto con la fig. 53-b (in alto).

Dal confronto delle due figure si può concludere che quando si usa un raddrizzatore ad una semionda, la corrente risulta unidirezionale, ma discontinua qualunque sia l'induttanza del carico perchè l'energia elettro-

magnetica viene smaltita tutta durante il semiperiodo negativo della tensione anodica.

In altre parole si ottiene una successione di andamenti transitori indipendenti, i cui valori massimi sono tanto più piccoli rispetto il valore che si avrebbe per $z \equiv R$, quanto maggiore è $T = L/R$.

Questo aspetto del funzionamento è molto importante nel caso in cui il carico è rappresentato dalla armatura di un motore a c.c. ed ora vedremo perchè.

Nello schema indicato nella figura 54, supponiamo in un primo tempo che il tubo possa condurre durante gli interi semiperiodi nei quali la placca è positiva e che il motore ruoti in condizioni di regime e a vuoto.

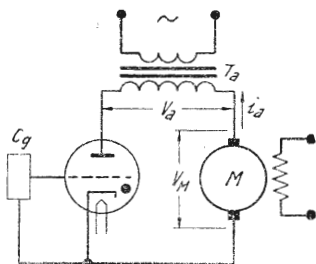


Fig. 54

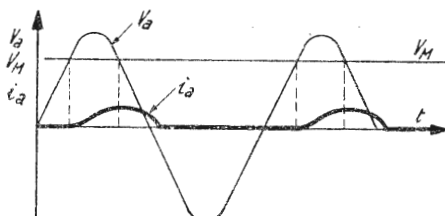


Fig. 55

Fig. 54 - Schema base di alimentatore a 1/2 onda, controllabile con griglie, per un motore a c.c.

M - Motore
 T_a - Trasformatore anodico
 V_a - Tensione anodica
 i_a - Corrente di linea
 V_M - Forza contro elettromotrice del motore (f.c.e.m. di M)
 C_g - Controllo di griglia.

Fig. 55 - Andamento della corrente e della tensione relativo alla fig. 54.

V_a - Tensione anodica
 V_M - f.c.e.m. del motore (si suppone perfettamente continua per semplicità).
 t - Tempo
 i_a - Corrente di linea.

V_a sia la tensione anodica, V_M la forza contro elettromotrice prodotta dal motore (f.c.e.m.) e per semplicità supporremo V_M perfettamente continua.

Benchè la parzializzazione sia nulla, ossia l'angolo di possibile conduzione sia 180° , il tubo può cominciare a condurre solo quando V_a diviene superiore a V_M e tenendo conto della induttività del carico, l'andamento della corrente risulta quella di fig. 55.

La media di questa corrente moltiplicata per il flusso di campo del motore è equivalente alla coppia media del carico applicato (in questo caso le sole perdite).

Applichiamo ora un carico sempre più elevato al motore sino a provocarne l'arresto: a motore fermo il carico del tubo è dato dalla armatura del motore, fortemente induttiva, per cui avremo che la corrente ha l'aspetto già indicato nella fig. 53-b nel caso di angolo di conduzione massimo;

si dimostra inoltre che, dimensionando opportunamente l'impedenza del motore, il valore massimo della corrente può essere mantenuta entro valori accettabili, appena che la costante di tempo supera notevolmente il periodo di conduzione.

In altre parole si può dire che un motore alimentato da un raddrizzatore ad una semionda si trova in condizioni di autoprotezione in caso di forti carichi o inceppamenti; ciò spiega anche il fatto che in tale circuito non occorre prevedere il limitatore di corrente, ma solo la protezione termomagnetica, e si può impunemente variare bruscamente il segnale di griglia del tubo senza che ne derivino inconvenienti.

Di fronte al grande vantaggio della autolimitazione della corrente, vi sono però degli svantaggi che ne limitano l'uso ad azionamenti di piccola potenza e di poche pretese; essi sono:

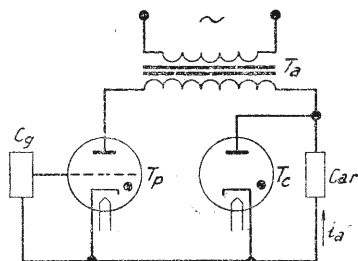


Fig. 56 - Raddrizzatore a 1/2 onda con tubo commutatore.

T_a - Trasformatore anodico
 i_a - Corrente di carico
 C_g - Controllo di griglia
 T_p - Tubo pilota
 T_c - Tubo commutatore
 Car - Carico

1) Il motore è soggetto ad un riscaldamento maggiore perchè la corrente contiene una forte percentuale di armoniche (componenti alternative) diverse a seconda delle condizioni di funzionamento, che aumentano le perdite nel ferro del motore;

2) La coppia del motore risulta pulsante;

3) La caduta di velocità del motore da vuoto a carico risulta molto forte ed aumenta perciò il « lavoro » dell'eventuale circuito di regolazione.

Ritroveremo questo circuito parlando di azionamenti reversibili.

Per ottenere un funzionamento migliore da un raddrizzatore ad una semionda si usa aggiungere, in parallelo al carico, un secondo tubo (diodo) che funge da commutatore nel senso che, durante i semiperiodi negativi della tensione di alimentazione, lascia libero passaggio alla energia elettromagnetica del carico sotto forma di corrente.

Questo circuito viene impiegato per alimentare il campo di una macchina a c.c. o di un alternatore e presenta il vantaggio di dare risultati analoghi a quelli di un raddrizzatore a due semionde, di cui parleremo in seguito, richiedendo un solo comando di griglia.

Riferendoci alla fig. 56, quando il tubo principale conduce, il tubo

commutatore è spento, perchè il suo catodo risulta positivo rispetto all'anodo; quando la tensione ai capi del tubo principale decresce e si inverte, la corrente che attraversa il carico diminuisce ed allora, se il carico è puramente ohmico, si annulla con la tensione senza far intervenire il commutatore; se invece il carico è induttivo la diminuzione di corrente provoca nel carico il sorgere di una forza elettromotrice di autoinduzione che è di polarità opposta alla precedente; a causa di ciò il tubo commutatore ha l'anodo a potenziale positivo e può condurre consentendo il passaggio alla corrente del carico, mentre il tubo principale si spegne.

Il funzionamento ricorda quello precedentemente descritto ma vi sono queste varianti:

1) l'energia elettromagnetica accumulata nel carico durante i periodi di conduzione del tubo principale o « pilota » viene scaricata attra-

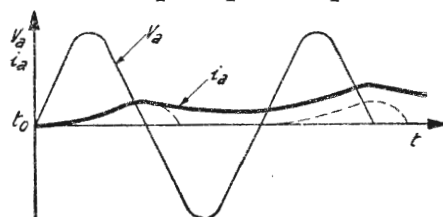


Fig. 57 - Andamento della corrente i_a di fig. 56.

V_a - Tensione anodica

i_a - Corrente nel carico (supposto induttivo) con paralizzazione nulla (punteggiato: l'andamento di i_a se non ci fosse il tubo commutatore)

t - Tempo

t_0 - Inizio del processo di conduzione (lo si è fissato all'origine di t con $V_a = 0$, per poter illustrare l'andamento iniziale di i_a).

verso il tubo commutatore quando la tensione ai capi del tubo pilota si inverte;

2) la corrente che attraversa il tubo commutatore decresce con legge naturale esponenziale perchè questo tubo agisce passivamente e non c'è alcuna tensione negativa, come nel caso precedente, che sollecita il suo azzeramento.

Agli effetti del tubo principale il sistema « carico-commutatore » si comporta perciò come se fosse ohmico; al successivo semiperiodo positivo della tensione di alimentazione, poi, il tubo principale riprende a condurre e così via. L'andamento qualitativo della corrente, nel caso di conduzione massima del tubo principale, è rappresentato dalla fig. 57; la corrente che attraversa il carico mantiene dunque la stessa direzione e, se il carico è abbastanza induttivo, la corrente non si interrompe mai anche se il tubo è sensibilmente parzializzato (si intende che ciò vale sino ad un certo limite). Si conclude anche che la autolimitazione di corrente, citata col circuito precedente, non sussiste più; la cosa però non ha grande importanza perchè il carico previsto è del tipo « fisso » (per es.: campo di eccitazione).

CAPITOLO III.

RADDRIZZATORI CONTROLLABILI A DUE SEMIONDE

I raddrizzatori a due semionde, assieme a quelli trifasi rappresentano il circuito più diffuso per la alimentazione di motori a c.c. di piccola e media potenza.

Lo schema base è quello di fig. 58; se il carico è puramente ohmico, la forma d'onda della corrente è data da una serie di semi-onde sinusoidali affiancate e unidirezionali (i_{a0} di fig. 59).

Se il carico è induttivo, la corrente che lo attraversa risulta più o meno « spianata ». In questo caso, la corrente erogata da un tubo, quando

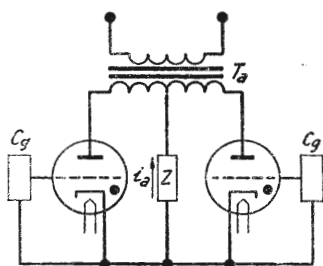


Fig. 58 - Schema base di un raddrizzatore a due semionde con tubi a gas controllabili con griglia.

Z - Carico

i_a - Corrente di carico

C_g - Controllo di griglia

T_a - Trasformatore anodico

questo cessa di condurre, si « raccorda » con quella erogata dall'altro tubo e perciò non esiste la autolimitazione di cui si è parlato per i raddrizzatori ad una semionda ed il raddrizzatore si comporta analogamente ad un generatore rotante con tante lamelle per paia di poli quante sono le fasi del raddrizzatore (R_z a due semionde = R_z bifase) (i_{a1} di fig. 59).

Se parzializziamo l'angolo di conduzione con la griglia, oltre un certo

valore, riotteniamo una corrente sotto forma di impulsi come nel caso « ad una semionda », perchè il periodo di conduzione esaurisce l'energia elettromagnetica del carico prima che si accenda l'altro tubo.

Nota: Abbiamo dato al termine « periodo di conduzione » nel caso di carico induttivo un significato differente che al termine « angolo di conduzione », come si può vedere dalla fig. 59 perchè quando la griglia « parzializza », la accensione del tubo successivo è comandata dopo un certo intervallo dal momento in cui la tensione anodica del primo tubo è diventata negativa. In questo intervallo la corrente, a causa del carico induttivo, non si annulla subito ma continua per scaricare l'energia elettromagnetica del carico stesso. In altre parole, l'induttanza del carico reagisce alla

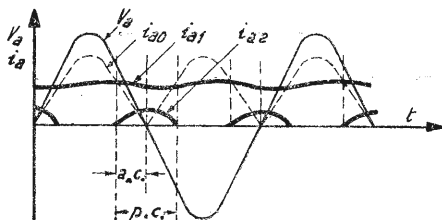


Fig. 59 - Andamenti della tensione e della corrente relativi alla fig. 58.

V_a - Tensione anodica

i_{a0} - Corrente di carico con parzializzazione zero e carico ohmico

i_{a1} - Corrente di carico (a regime) con parzializzazione zero e carico induttivo

i_{a2} - Corrente di carico con forte parzializzazione e carico induttivo

a.c. - Angolo di conduzione (relativo ad i_{a2}).

p.c. - Periodo di conduzione (relativo ad i_{a2}).

diminuzione della corrente, dettata dall'invertirsi della tensione anodica del primo tubo, con una forza elettromotrice che riesce a mantenere il passaggio della corrente ad onta della tensione negativa anodica del tubo, il quale allunga quindi il periodo di conduzione. La stessa cosa si è detto di quello che avviene nei raddrizzatori ad una semionda, dove c'è un tubo solo, e bisogna attendere il successivo semiperiodo positivo della tensione anodica per avere una nuova accensione.

Il dimensionamento del carico dipende dalla massima parzializzazione prevista e dal tempo che si prevede possa durare la stessa perchè, come si è già visto, la trasformazione della forma d'onda da praticamente continua a impulsiva rappresenta l'aggiunta di armoniche, ossia di componenti alternative che producono maggiori perdite nel carico.

Per i raddrizzatori trifasi, esfasi, ecc. sono validi ragionamenti analoghi ai precedenti sia che si tratti di tanti tubi separati sia di un unico tubo, o ampolla, o cilindro, plurianodico.

CAPITOLO IV.

BOBINA DI ASSORBIMENTO NEI RADDRIZZATORI POLIFASI

Maggiore è il numero delle fasi di un raddrizzatore e più vicino può essere l'andamento della corrente a quello continuo anche in presenza di forte parzializzazione; d'altra parte, aumentando il numero delle fasi, minore è il tempo in cui un tubo (o un anodo se si tratta di ampole pluri-anodiche) conduce; ciò porta ad una minore utilizzazione del trasformatore di alimentazione dove funziona solo l'avvolgimento relativo al tubo acceso.

Per ovviare a questo inconveniente economico si usa considerare come base il circuito trifase e, raggruppando opportunamente gli anodi, trasformare un circuito plurifase in tanti circuiti trifasi in parallelo. Per far funzionare in parallelo più anodi si ricorre al sistema della bobina di assorbimento.

Consideriamo per esempio il circuito di fig. 60 dove il trasformatore comprende due secondari trifasi, sfasati di 60° elettrici tra di loro, a stella. I centri delle due stelle sono collegati attraverso la bobina (o reattore) di assorbimento dal cui centro si preleva il polo negativo del raddrizzatore.

Gli anodi sono collegati nell'ordine di accensione:

- 1, 3, 5 ad una stella;
- 2, 4, 6 all'altra stella.

Se non ci fosse la bobina di assorbimento, un anodo, quando assume potenziale superiore agli altri, si accende, e quello che lo « precede » nell'ordine si spegne perchè la sua tensione risulta subito negativa anche rispetto al catodo; per comprendere ciò basta pensare che l'arco rappresenta quasi un corto circuito tra anodo acceso e catodo e perciò il catodo risulta praticamente al potenziale dell'anodo acceso; l'anodo « precedente » allora, in quanto a potenziale inferiore rispetto l'anodo che si è

acceso dopo di lui, tende a diventare negativo rispetto al catodo e l'arco relativo si spegne (*).

La bobina di assorbimento altera il funzionamento precedente perchè all'accendersi dell'anodo « 2 » le due metà della bobina stessa si accoppiano

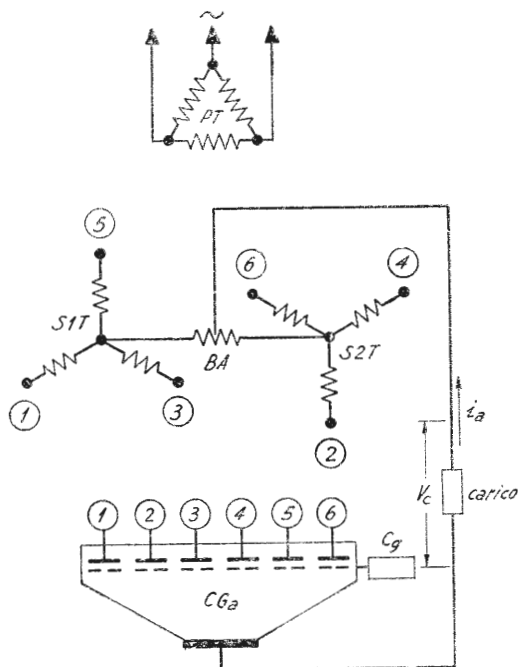


Fig. 60 - Raddrizzatore esaanodico con griglie e bobina di assorbimento.

- CG_a - Cilindro raddrizzatore
 PT - Primario del trasformatore anodico (supposto a triangolo)
 S_1T-S_2T - Secondari del trasformatore anodico
 BA - Bobina di assorbimento
 i_a - Corrente di carico
 V_c - Tensione al carico
 C_g - Controllo di griglia
 $1 \div 6$ - Anodi in successione di accensione ed estremi relativi di S_1T ed S_2T .
 (Sono stati omessi i collegamenti per non ingombrare il disegno. Il criterio di numerare gli estremi dei collegamenti senza disegnare questi ultimi, viene usato da alcune case costruttrici e consente di ottenere schemi « sgombri », ossia meglio osservabili).

in modo che i potenziali dei due anodi si eguagliano e perciò il primo anodo si mantiene acceso sino al momento in cui entra in gioco l'anodo « 3 » che

(*) La tensione tra anodo acceso e catodo si chiama « caduta d'arco », è particolarmente costante al variare del carico e si aggira sui $10 \div 15$ V a seconda del tipo di tubo a gas. La costanza della caduta d'arco viene sfruttata nei tubi stabilovolt usati per ottenere una tensione stabilizzata di riferimento.

si sostituisce all'«1», lasciandolo spegnere perchè tra questi due manca l'azione della bobina di assorbimento.

Quanto avvenuto per l'anodo «1» rispetto all'anodo «2» ora si verifica per l'anodo «2» rispetto all'anodo «3» sino a che si accende l'anodo «4» e così via.

Il funzionamento con 6 tubi o con raddrizzatore esafase si chiama «doppio trifase» e, durante la conduzione della coppia, la tensione ai capi del carico risulta essere la media delle due tensioni degli anodi accesi insieme.

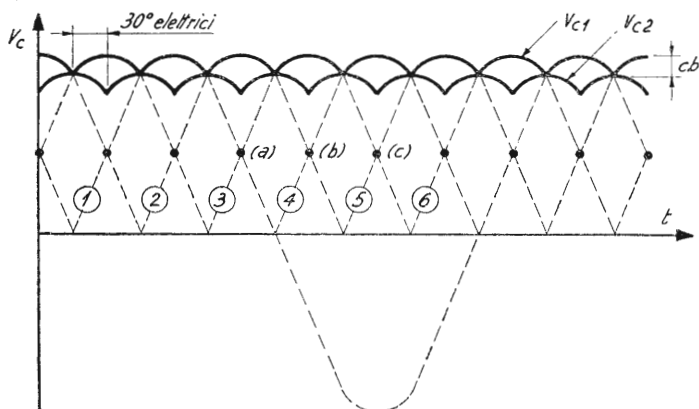


Fig. 61 - Andamento della tensione ai capi del carico di fig. 60 supposto puramente ohmico (parzializzazione zero).

- V_c - Tensione al carico
- V_{c1} - Tensione al carico per basse correnti
- V_{c2} - Tensione al carico per forti correnti
- cb - Caduta di tensione quando entra in funzione la bobina di assorbimento
- t - Tempo
- 1 ÷ 6 - Tensioni anodiche degli anodi 1 ÷ 6 (tra estremo del secondario e centro stella)
- (a) Istante di scambio tra anodo 1 ed anodo 3
- (b) Istante di scambio tra anodo 2 ed anodo 4
- (c) Istante di scambio tra anodo 3 ed anodo 5.

La bobina di assorbimento va dimensionata in base alla massima parzializzazione prevista; essa inoltre, come si è visto, agisce in quanto c'è carico e perciò, al di sotto di una certa corrente (5 ÷ 10 A per le ampole esaanodiche da 1000 A), il raddrizzatore torna a funzionare con anodi indipendenti ed il fatto si palesa con un aumento della tensione ai capi del carico (fig. 62). Il fenomeno è complicato dalla presenza delle griglie e richiede alcuni accorgimenti nel caso in cui il carico è rappresentato da un motore a c.c., da avviare «da fermo», connesso al raddrizzatore attraverso l'interruttore di inserzione e protezione.

Dalla fig. 61 ci si può rendere conto del fenomeno accennato, osservando che la forma d'onda della tensione «con bobina di assorbimento» non solo è più bassa della forma d'onda della tensione «senza bobina di assorbimento» ma anche spostata di 30° elettrici rispetto alla seconda.

Il comando di griglia risente di questo spostamento e per compensare

il passaggio da vuoto a carico deve considerare una variazione di fase pari a 30° .

A proposito del funzionamento a vuoto o a carico di un raddrizzatore, rammentiamo che l'azione raddrizzatrice è presente solo se c'è un carico (!); la cosa sembrerà lapalissiana ma bisogna riconoscere che caratterizza il raddrizzatore.

Da ricordare inoltre che quando il raddrizzatore non è « acceso », si comporta come un tubo a vuoto, ossia quando l'anodo è positivo rispetto

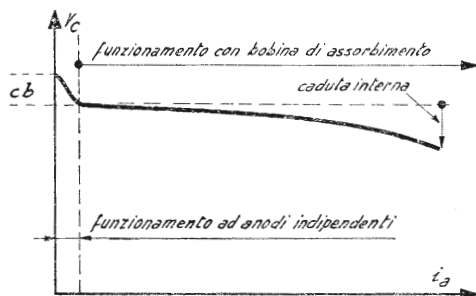


Fig. 62 - Caratteristica esterna di un cilindro raddrizzatore esaanodico.

V_l - Tensione al carico

i_a - Corrente di carico

cb - Caduta di tensione per l'entrata in funzione della bobina di assorbimento.

al catodo si ha il passaggio di una lieve corrente puramente « elettronica » in funzione della tensione di griglia (qualche milliampere).

Il campo di funzionamento di un tubo a gas può dunque essere completato come indica la tabella 2.

Tabella 2 - Campo di funzionamento di un tubo a gas.

1) Tensione anodica (V_a) negativa	Corrente anodica (I_a) nulla
2) V_a positiva Tensione di griglia (V_g) inferiore al potenziale di accensione (V_{ga})	Corrente anodica (I_a) molto piccola, dipendente da V_g come nei tubi a vuoto
3) V_a positiva $V_g > V_{ga}$ $I_a < \text{intervento bobina di assorbimento}$	Funzionamento normale ma con anodi indipendenti
4) V_a positiva $V_g > V_{ga}$ $I_a > \text{intervento bobina di assorbimento}$	Funzionamento normale, con anodi accesi « in gruppo » Tensione « al carico » inferiore alla precedente con spostamento di 30° della forma d'onda

CAPITOLO V.

REVERSIBILITÀ DI FUNZIONAMENTO CON TUBI A GAS

Gli azionamenti che impiegano tubi a gas sono, per le specifiche proprietà di questi ultimi, unidirezionali; perciò quando occorre un comando nei due sensi del moto occorre introdurre dei contattori invertitori o raddoppiare il numero dei tubi prevedendo anche quelli per il funzionamento in senso inverso.

Il primo sistema è impiegato negli azionamenti maggiori, il secondo serve per quelli più piccoli.

Supponendo di invertire la marcia di un motore a c.c. che funziona a regime, per mezzo di contattori di armatura, occorre prevedere un certo andamento delle cose che ora cercheremo di illustrare nel modo più semplice possibile.

Durante il funzionamento normale a regime, la f.c.e.m. generata da un motore a c.c., si oppone alla tensione fornita dal raddrizzatore allo stesso modo col quale si opporrebbe a quella del generatore a c.c. se si trattasse di un circuito Ward Leonard.

Al momento della inversione invece, la f.c.e.m. e la tensione fornita dal raddrizzatore sono equiverse e se non intervenissero le griglie ci troveremmo di fronte ad un vero e proprio corto circuito.

Il sistema più semplice per ottenere l'inversione consiste nel frenare dinamicamente il motore e poi effettuare l'inversione.

La frenatura dinamica occorre perchè se si «portassero a zero» le griglie dei tubi che alimentano il motore, per l'unidirezionalità di conduzione dei tubi stessi, il motore si troverebbe distaccato dalla alimentazione e si fermerebbe solo per attrito o per l'eventuale carico cui è sottoposto, in ogni caso in un tempo rilevante che spesso non è accettabile.

Per evitare la doppia manovra di frenatura ed inversione si è diffuso oggi il sistema di far intervenire le griglie per limitare la corrente di corto circuito cui si è accennato in precedenza.

Il sistema è impiegabile col controllo orizzontale di griglia. La manovra si svolge, per sommi capi, in questo modo:

- 1) si sfasano fortemente i segnali di griglia;
- 2) si invertono i collegamenti di armatura curando che la manovra avvenga con corrente di linea zero.

In questo momento il motore e l'alimentatore si trovano nelle condizioni espresse dalla fig. 63.

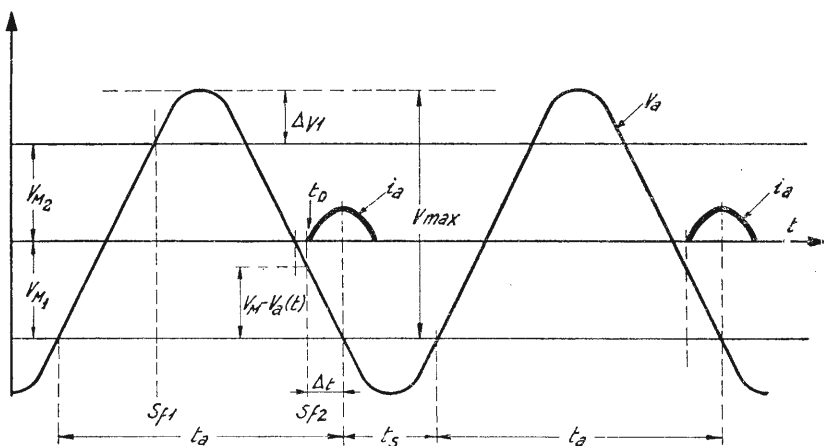


Fig. 63 - Inversione di marcia controllata con tubi a gas. Rappresentazione semplificata per uso illustrativo, supponendo che il tubo a gas sia unico (schema tipo quello di fig. 54) e che durante i due periodi indicati il motore non abbia ancora cominciato a decelerare.

VM_1 - Tensione ai morsetti del motore appena dato il comando di inversione
 VM_2 - Tensione ai morsetti del motore al termine dell'inversione ($= -VM_1$)
 ΔV_1 - Differenza di tensione tra VM_2 e V_a a regime
 V_{max} - Tensione totale che sollecita il tubo a gas appena dato il comando di inversione
 V_a - Tensione anodica
 t - Tempo
 t_0 - Istante in cui viene comandata la accensione del tubo
 t_s - Periodo in cui V_a è minore di VM_1
 Δt - Anticipo di accensione prima di t_s

$V_a(t)$ - Tensione istantanea anodica. L'aggiunta di (t) mette in evidenza la dipendenza di V_a dal tempo
 $[t_a$ - Periodo (riferito alle condizioni iniziali di inversione) in cui il tubo, griglia concedendolo, si può accendere.
 i_a - Corrente di linea
 Sf_1 - Sfasamento al termine dell'inversione (istante di comando di accensione al termine dell'inversione $VM = VM_2$)
 Sf_2 - Sfasamento all'inizio dell'inversione (istante in cui si comanda la accensione del tubo all'inizio della inversione in cui $VM = VM_1$).

La accensione dei tubi può avvenire in tutto il periodo « t_a », mentre durante il periodo « t_s » la tensione anodica (negativa) è superiore in valore assoluto a quella della f.c.e.m. del motore a c.c. ed essendo opposta alla f.c.e.m. del motore, l'accensione è contrastata se il tubo è già acceso (ed impedita se il tubo è spento prima dell'inizio di « t_s »);

3) se ora si gradua lo sfasamento di griglia in modo da comandare la accensione dei tubi poco prima del periodo « t_s », per es. in « t_0 » distante « Δt » dall'inizio di « t_s », il tubo si accende perchè sottoposto alla tensione

positiva iniziale $V = V_M - V_a(t)$. Scorre allora una corrente che, per le cause già note parlando dei raddrizzatori, si prolunga entro « t_s ».

La delicatezza del funzionamento consiste nell'ottenere appunto una corrente che si estingua entro il periodo « t_s » perchè, se riuscisse a durare sino al successivo periodo « t_a », il tubo rimarrebbe acceso e il valore della (i_a) salirebbe a valori proibitivi perchè sollecitata da V_{max} in modo da non poter essere più estinta, dando luogo al corto circuito cui si è accennato.

I danni in questo caso, a parte l'intervento delle protezioni, sarebbero rilevanti anche per l'enorme coppia di frenatura che verrebbe ad essere applicata al motore provocando sollecitazioni pericolose;

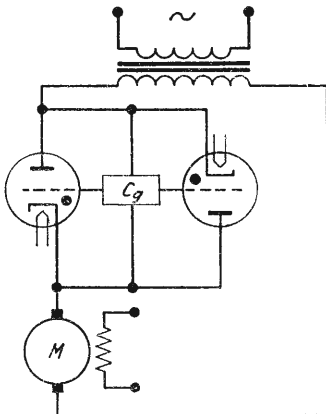


Fig. 64 - Circuito reversibile per la alimentazione a 1/2 onda di un motore a c.c.

M - Motore a c.c.
 C_g - Controllo di griglia.

4) ottenuta la graduazione giusta, il motore viene invece frenato a dovere, mentre il circuito modifica man mano la parzializzazione di griglia sino all'arresto del motore stesso; da questo momento il funzionamento ritorna ad essere normale.

La manovra del circuito sfasatore, iniziata dal comando di inversione, è proseguita da un circuito limitatore di corrente. Da quanto esposto risulta chiaramente che occorre:

- 1) disporre di circuiti precisi, sicuri e veloci;
- 2) avere a disposizione fortissimi sfasamenti di griglia;
- 3) prevedere per il comando di griglia che la tensione massima anodica è V_{max} , praticamente doppia del normale essendo $V_{max} = V_a + V_M$.

Durante la decelerazione sino all'arresto, il motore a c.c. frena a recupero perchè la corrente scorre nella direzione normale, mentre la tensione anodica è negativa ed è negativa perciò anche la potenza in gioco; si tratta perciò di potenza recuperata in rete.

Quando si tratta di piccole potenze (1 CV circa) si applica invece un

circuito più semplice (fig. 64) che impiega due tubi in opposizione. Questi tubi sono controllati in modo che le griglie lavorano a bilancia nel senso che, quando si accende un tubo, l'altro è sicuramente spento in modo che il motore è alimentato « ad una semionda » o in un senso o nell'altro. In questo caso ricordiamo quanto si è già detto a suo tempo parlando della autolimitazione di corrente e possiamo concludere che non vi sono pericolosi sovraccarichi anche a seguito di brusche inversioni.

In corrispondenza del funzionamento « a motore fermo » la pratica consiglia una leggera conduzione di ambedue i tubi perchè allora il motore, sollecitato da impulsi alternativi, non risente in pratica della coppia di spunto propria ed è « pronto a partire ».

CAPITOLO VI.

DISINNESCO DI TUBI A GAS ALIMENTATI IN C. C.

Quando un tubo a gas viene inserito in un circuito alimentato in c.c. si ricorre a qualche artificio per spegnere il tubo perchè, come si è detto, la griglia non può farlo. Il sistema più semplice prevede un contatto in serie al circuito anodico comandato a mano o automaticamente dalla stessa corrente anodica. La apertura del circuito deve durare sino a che cessa il segnale di griglia, in caso contrario è evidente che, richiudendosi il circuito, il tubo si accende di nuovo. Per es., nel caso di fig. 65 è previsto il funzionamento automatico, purchè il contatto « L » sia ritardato opportunamente in apertura ed in chiusura.

Per ottenere il disinnesco automatico senza contatti, sono stati realizzati molti circuiti detti « a rilassamento ». Il più semplice è quello indicato nella fig. 66.

Supponiamo di partire col tubo tiratrone T spento.

Il condensatore C allora si carica attraverso la resistenza R al valore V_a perchè nessuna corrente passa attraverso R_a . Se si applica un impulso di tensione alla griglia del tiratrone, questo si accende ed allora C si scarica attraverso il tubo ed R_a e, se la costante di tempo (RC) è abbastanza elevata rispetto ad (R_aC) e quest'ultima è maggiore dell'impulso di tensione dato alla griglia, si può fare in modo che la tensione applicata tra anodo e catodo, dipendendo dalla carica di C , scenda al di sotto del potenziale minimo di accensione del tubo per cui quest'ultimo si spegne.

A seguito dello spegnimento del tubo il condensatore C tornerà a caricarsi e il circuito sarà pronto a ricevere un nuovo impulso di griglia.

La applicazione tipica del disinnesco automatico è rappresentata dal circuito di fig. 67 universalmente noto sotto il nome di « flip-flop » che prevede due tubi a gas ed è molto usato nelle calcolatrici elettroniche.

Supponiamo che all'inizio i due tubi siano spenti.

Un impulso V_g provocherà l'accensione di un tubo; ciò avviene in

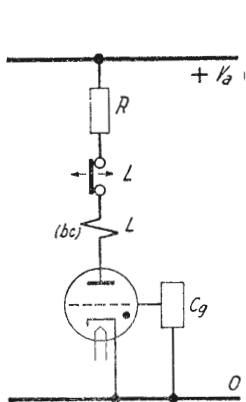


Fig. 65

Fig. 65 - Circuito di disinnesco a mezzo di contatto automatico di un tubo a gas alimentato in c.c.

V_a - Tensione continua di alimentazione, misurata rispetto il cavo « 0 »

C_g - Controllo di griglia

L - Relè (o contattore) e relativo contatto

bc = Bobina di chiusura (di L)

R = Resistenza

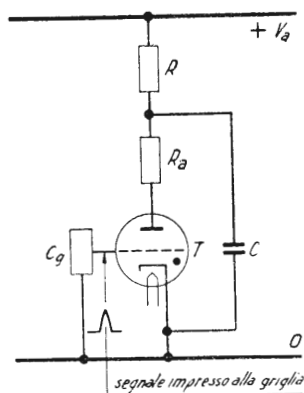


Fig. 66

Fig. 66 - Disinnesco automatico di un tubo a gas alimentato in c.c.

V_a - Tensione continua di alimentazione, misurata rispetto il cavo « 0 »

C_g - Controllo di griglia

T - Tubo a gas

C - Condensatore

R - Resistore di carica di C

R_a - Resistore di scarica di C .

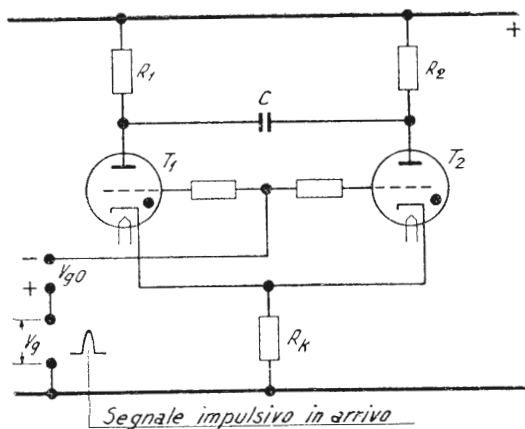


Fig. 67 - Circuito « flip-flop ».

R_1, R_2 - Resistori anodici

C - Condensatore

T_1, T_2 - Tubi a gas

R_k - Resistore catodico

V_{g0} - Polarizzazione fissa di griglia

V_g - Segnale di griglia.

ogni caso perchè è impossibile che tutti gli elementi simmetrici del circuito siano identici, ma si prestabilisce il tubo che si deve accendere per primo, rendendo dissimmetrico il circuito con qualche artificio che tralasciamo per semplicità.

Sia T_1 il tubo che si accende. La accensione di T_1 blocca la possibilità di accensione di T_2 per la durata dell'impulso (V_g) perchè la tensione tra anodo e catodo di T_2 si riduce immediatamente al di sotto del potenziale di accensione sia per la caduta ai capi di R_k che alza il potenziale del catodo, e sia per la diminuzione del potenziale di placca del tubo T_2 , che in un primo tempo segue il potenziale della placca di T_1 a causa del collegamento operato dal condensatore C , di elevata capacità, i cui morsetti, all'inizio della operazione, si trovano a uguale potenziale.

In seguito, C si carica attraverso R_2 , riportando la placca di T_2 al potenziale di alimentazione, mentre il tubo T_2 rimane spento perchè l'impulso V_g è già cessato e l'aumentata caduta ai capi di R_k ha portato la sua griglia ad un potenziale sensibilmente negativo rispetto al catodo.

Al prossimo impulso (V_g), che deve essere tale da rendere positiva la griglia di T_2 , T_2 si accende; allora il potenziale della sua placca si abbassa di colpo « trascinandosi dietro » il potenziale della placca del tubo T_1 (sempre a causa della « inerzia capacitiva » di C) mentre il potenziale del catodo si eleva per la maggior caduta ai capi di R_k ; in questo modo il potenziale tra anodo e catodo del tubo T_1 si riduce fortemente (si inverte addirittura) provocando lo spegnimento del tubo stesso.

Da questo momento riprende il funzionamento descritto salvo lo scambio tra T_1 e T_2 .

Il potenziale negativo costante (V_{go}) applicato alle griglia serve a garantire che i tubi, a riposo, rimangono spenti.

Tubi a gas come interruttori.

Un tubo a gas rappresenta un interruttore perfetto per c.a. perchè, in qualsiasi condizione di carico, interrompe il circuito quando la corrente passa per lo zero. Con le griglie, inoltre, è possibile chiudere il circuito col ritardo iniziale, nei confronti della tensione, corrispondente al *cosfi* del carico. In questo modo vengono completamente eliminati i transistori che sollecitano i normali interruttori. L'intervento infine è immediato, perchè l'apertura del circuito o la chiusura interessano un semiperiodo al massimo.

Per questo uso sono in corso degli studi per sostituire gli interruttori AT con tubi a gas. La sostituzione degli interruttori BT si può dire sia solo una questione economica.

L'impiego odierno dei tubi a gas come interruttori è diffuso nelle saldatrici a resistenza; i tubi agiscono sul primario del trasformatore di sal-

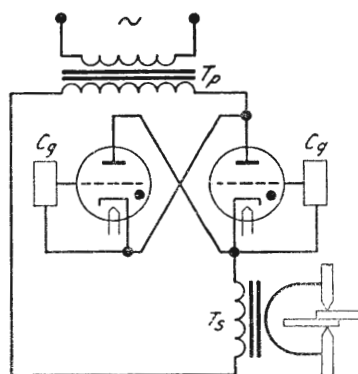


Fig. 68 - Controllo di una saldatrice a resistenza.

T_s - Trasformatore di saldatura
 T_p - Trasformatore di potenza
 C_g - Controllo di griglia.

datura (fig. 68) e sono pilotati dalle griglie per mezzo di opportuni circuiti che prevedono, nei tipi più perfezionati, il periodo di saldatura e di rinvenimento a mezzo di temporizzatori e programmatori con tubi a vuoto e a gas.

L'impiego di raddrizzatori a vapori di mercurio per linee ad A.T. si è recentemente affermato nel trasporto di energia in c.c. Per esempio: la rete europea è collegata a quella inglese con due stazioni convertitrici collegate da un cavo sotto La Manica (il «ritorno» è rappresentato dal mare) le quali funzionano alternativamente da convertitori c.a. → c.c. o da convertitori c.c. → c.a. a secondo che potenza sia diretta «verso mare» o «verso terra».

CAPITOLO VII.

CIRCUITI SFASATORI PER TUBI A GAS

Controllo verticale.

Parlando del funzionamento dei tubi a gas abbiamo accennato ai due sistemi fondamentali, usati per pilotare le griglie, che abbiamo denominato: controllo verticale e controllo orizzontale. Passeremo ora in rassegna alcuni di tali circuiti realizzati nella pratica.

Lo sfasamento fisso è generalmente ottenuto con un condensatore in serie ad una resistenza in modo che le due impedenze siano uguali.

Per esempio nella fig. 69 la tensione secondaria del trasformatore di griglia è prevista in fase con quella anodica che alimenta il tubo a gas; dimensionando in modo che R sia uguale ad $1/\omega C$ e collegando come indicato nella fig. 69, V_{gca} risulta ritardato di 90° elettrici rispetto V_a (se si trova che lo sfasamento è in anticipo, basta invertire i morsetti X_1X_2). Il dimensionamento di R e di C varia col variare della frequenza della rete di alimentazione come risulta dall'esempio numerico riportato dalla tabella 3; di questa variazione occorre tener conto quando si usano apparecchiature provenienti da costruttori americani abituati ai 60 Hz. La targa dell'apparecchiatura che contiene lo sfasatore porta l'indicazione della frequenza prevista riportata anche sugli schemi.

La sovrapposizione della componente continua a quella alternata di griglia si ottiene con vari schemi e noi ora accenneremo ai principali.

Quello illustrato nella fig. 69 è il più semplice e lo si trova nei circuiti a mezza onda; da notare che per ottenere valori negativi della componente continua di griglia (V_{gcc}) la presa del catodo è a un potenziale positivo rispetto al morsetto negativo del reostato (R_v).

Nei circuiti a 2 semionde, che sono i più diffusi per piccole potenze, occorre disporre di due tensioni alternative opposte per le griglie dei due tubi a gas. Un sistema abbastanza semplice per ottenere quanto sopra è

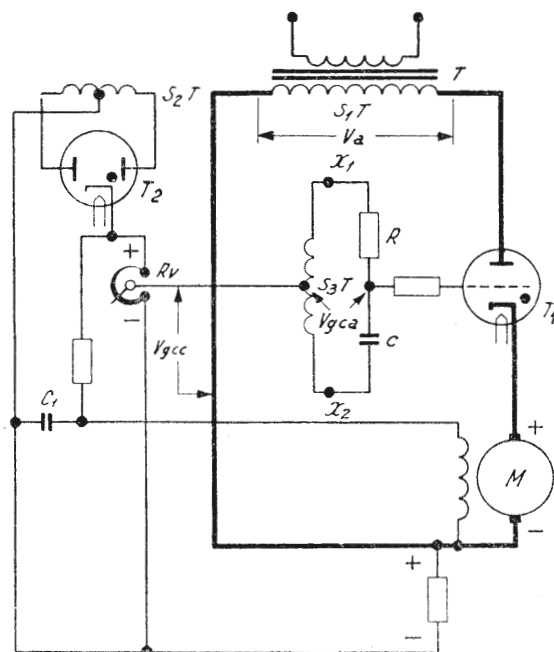


Fig. 69 - Circuito base per alimentazione, non reversibile, di un motore a c.c. con tubi a gas.

- T - Trasformatore principale
 S_1T-S_2T - Secondari di T
 R_V - Reostato di riferimento
 M - Motore a c.c.
 R - Resistenza
 C - Condensatore } del circuito a sfasamento fisso
 x_1-x_2 - Morsetti citati nel testo
 T_1 - Tubo a gas principale
 T_2 - Tubo a gas raddrizzatore per l'alimentazione del campo di M e la tensione di riferimento
 C_1 - Condensatore di livellamento
 V_g c.c. - Componente continua del segnale di griglia
 V_g c.a. - Componente alternata del segnale di griglia.

Tab. 3 - Dati relativi al circuito a sfasamento fisso.

H_z	$R(\Omega)$	$C(\mu F)$	Rispetto 60 Hz
60	12 000	0,22	—
50	14 500	0,22	C invariato
50	12 000	0,265	R invariato

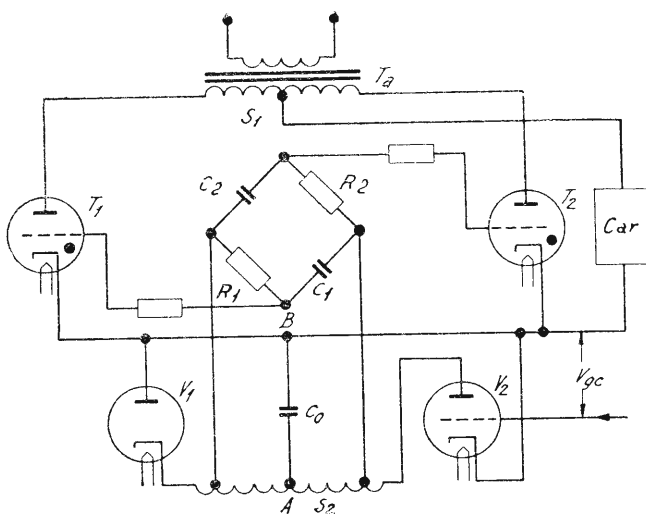


Fig. 70 - Esempio di raddrizzatore a due semionde con controllo verticale di griglia.

- T_a - Trasformatore anodico
- Car - Carico
- S_1-S_2 - Secondari trasformatore anodico
- T_1-T_2 - Tubi a gas
- V_1-V_2 - Tubi a vuoto
- C_o - Condensatore
- V_{gc} - Segnale di controllo alla griglia di entrata
- R_1-R_2 - Resistenze
- C_1-C_2 - Condensatori } dei circuiti per lo sfasamento fisso

illustrato nello schema di fig. 70 (dove, come al solito, $1/\omega C_1 = 1/\omega C_2 = R_1 = R_2$); questa figura, per facilitarne la comprensione, è stata trasformata nella fig. 71, equivalente, dove sono stati messi in evidenza i due sfasatori fissi. Nello schema predetto il segnale di controllo (V_{gc}) è applicato alla griglia del tubo a vuoto V_2 e questo tubo, a causa del segnale, conduce più o meno del diodo a vuoto V_1 . Se la resistenza interna di V_2 è minore di quella di V_1 , il punto B risulta positivo rispetto al punto A , il contrario avviene se V_2 presenta una resistenza interna maggiore di V_1 .

La tensione tra A e B , livellata da C_o , è la componente continua del segnale di griglia, comune ai due tubi a gas T_1 e T_2 . A questa componente si somma quella alternata prodotta a mezzo di R_1, C_1 oppure R_2, C_2 , separati nello schema equivalente di fig. 71 e la risultante viene applicata rispettivamente tra catodo e griglia di T_1 e di T_2 .

Altro schema molto usato è quello indicato nella fig. 72 riprodotto in fig. 73 per mettere in evidenza il funzionamento dei singoli componenti ed il diagramma vettoriale delle tensioni che spiega come si giunga alla componente alternata in quadratura.

Il funzionamento è un po' complesso e perciò lo illustreremo a scalini cominciando dal come si generi la componente continua.

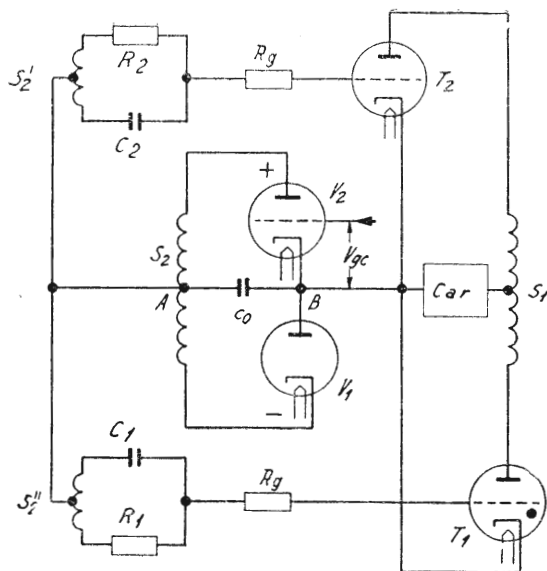


Fig. 71 – Circuito analogo a quello di fig. 70, nel quale sono stati messi in evidenza i circuiti sfasatori.

C_{ar} - Carico
 S_1-S_2 - Secondari trasformatore anodico
 S_3-S_2'' - Elementi di S_2 , separati per mettere
 in evidenza gli sfasatori
 T_1-T_2 - Tubi o gas

V_1 - V_2 - Tubi a vuoto
 C_0 - Condensatore
 V_{gc} - Segnale di controllo
 R_1 - R_3 - Resistenze
 C_1 - C_2 - Condensatori

{ dei circuiti per lo sfa-
 samento fisso

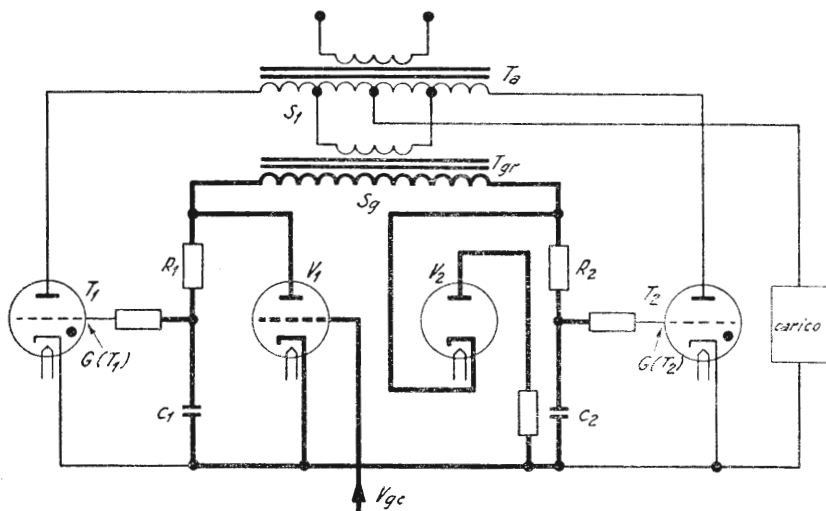


Fig. 72 - Altro esempio di raddrizzatore a due semionde con controllo verticale di griglia.

T_a - Trasformatore anodico
 S_1 - Secondario di T_a
 T_{gr} - Trasformatore di griglia
 S_g - Secondario di T_{gr}
 T_1, T_2 - Tubi a gas

$G(T_1) - G(T_2)$ - Griglie dei tubi a gas
 V_{gc} - Segnale di controllo all'ingresso
 $V_1 - V_2$ - Tubi a vuoto
 $R_1 - R_2$ - Resistenze
 $C_1 - C_2$ - Condensatori

$\left\{ \begin{array}{l} \text{dei circuiti a sfasamento} \\ \text{fisso} \end{array} \right.$

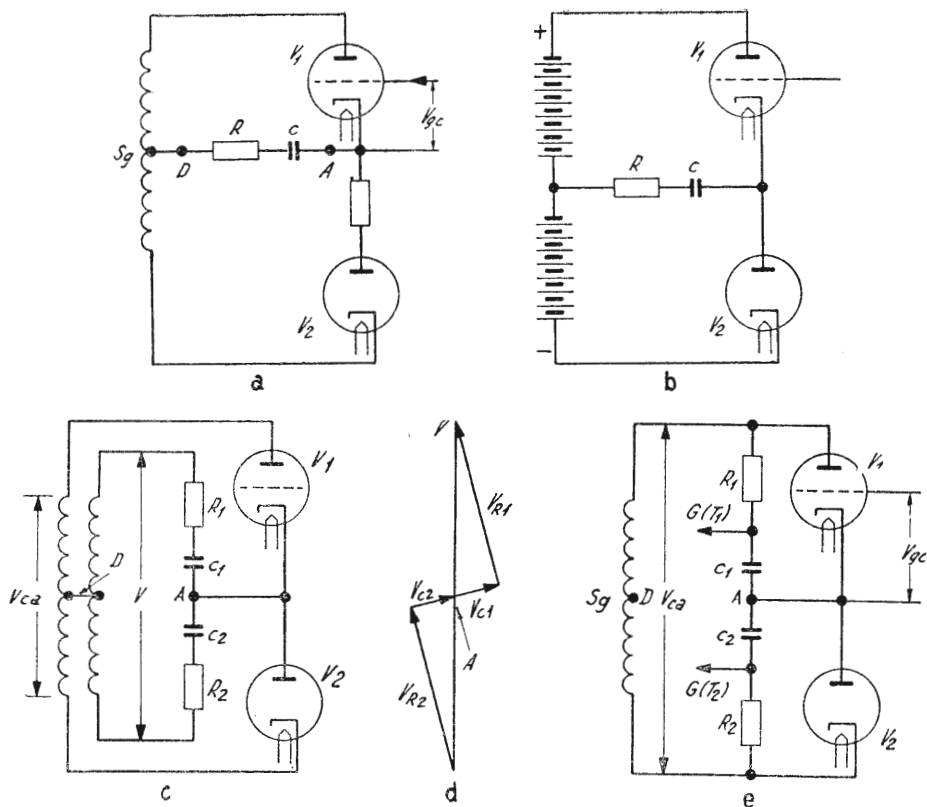


Fig. 73 - Ricostruzione « per parti » del circuito indicato in grassetto nella fig. 72.

- Generazione della componente continua
- Circuito equivalente al precedente
- Generazione della componente alternata
- Diagramma vettoriale relativo al comma precedente
- Sovrapposizione della componente continua a quella alternata e ricavo delle tensioni per $G(T_1)$ e $G(T_2)$.

Consideriamo anzitutto la fig. 73-a; ricordando quanto si è detto in precedenza, è facile comprendere che al variare (in seguito al segnale di griglia) della resistenza interna di V_1 varia la tensione unidirezionale applicata ai capi del condensatore C ; trascurando infatti la non perfetta continuità della corrente e considerando il circuito equivalente di fig. 73-b alimentato in c.c. si può ricavare una espressione che indica il valore della tensione c.c. ai capi del condensatore C al variare del rapporto tra la resistenza interna di V_1 e la resistenza totale del ramo contenente V_2 . In questo modo abbiamo visto come si genera la componente continua V_{gcc} dello sfasatore. Consideriamo ora il circuito di fig. 73-c, dove $R_1 = R_2 = 2R$ e $C_1 = C_2 = C/2$ (R e C di fig. 73-a).

Se l'impedenza di C_1 e C_2 è abbastanza piccola rispetto la resistenza di R_1 ed R_2 , il diagramma vettoriale è quello di fig. 73-d dove si vede che le tensioni ai capi di C_1 e C_2 sono opposte rispetto al punto (A) e all'incirca in quadratura rispetto alla tensione V . Si può notare inoltre che il punto (A), data la simmetria del circuito, è equipotenziale rispetto al punto (D), ossia: tenendo conto della sola V , nessuna tensione esiste tra (A) e (D).

Stabilito infine $V = V_{ca}$, sostituiamo il circuito di fig. 73-c nella fig. 73-a, come indicato nella fig. 73-e. Dato che $R_1 = R_2 = 2R$ e $C_1 = C_2 = C/2$ la variazione della resistenza interna di V_1 rispetto a quella del ramo di V_2 farà comparire una tensione continua, variabile in conseguenza, ai capi di C_1 e di C_2 (uguale a quella trovata per la fig. 73-a ai capi di C).

A sua volta V_{ca} farà comparire ai capi di C_1 e C_2 la componente alternata, in quadratura con V_{ca} , senza influire sul resto del circuito, perchè, come si è detto, (D) ed (A) sono allo stesso potenziale agli effetti di V_{ca} .

Sommando i due effetti sopra citati si può concludere che ai capi di C_1 e di C_2 è presente una tensione risultante dalla somma di una componente continua, variabile per mezzo di V_1 , e di una componente alternata fissa e in quadratura rispetto ad una tensione (V_{ca}) che per costruzione può essere prevista in fase con quella anodica dei due tubi a gas controllati (T_1 e T_2).

E' facile infine vedere che il circuito di fig. 73e è quello segnato in grassetto nella fig. 72.

Controllo orizzontale.

Il controllo orizzontale della griglia dei tubi a gas è migliore del controllo verticale perchè consente facilmente di prevedere un deformatore d'onda che fornisce un fronte ripido di accensione e consente perciò di ottenere angoli di conduzione maggiori ed esenti dalle incertezze cui si è accennato in precedenza. Tutti i circuiti di media e grande potenza con tubi a gas usano oggi sfasatori orizzontali ad onda deformata e la deformazione può essere, diremo così, aggiunta dopo lo sfasamento oppure nascere dallo stesso deformatore.

L'esempio caratteristico del primo sistema lo abbiamo nel circuito normalmente usato da una nota ditta elettromeccanica per pilotare cilindri in ferro esafasi di potenza.

Si tratta di uno sfasatore speciale che consente di ottenere un campo di variazione di fase, teorico, di 240° elettrici, mediante un accorgimento molto interessante. Lo schema è quello di fig. 74 e si tratta di un circuito a triangolo dove i centri dei lati sono collegati da un secondo circuito a triangolo formato da condensatori e resistenze; queste ultime sono sostituite, nella realtà, dai primari dei trasformatori di isolamento, che trasferiscono i segnali sfasati alla sezione « deformatore », dalla quale si dirigono alle griglie (fig. 75).

Dato il carattere elementare di questa esposizione, risparmiamo al cortese lettore la lunga esposizione analitica, e diremo soltanto che dimensionando opportunamente i componenti, al variare contemporaneo delle

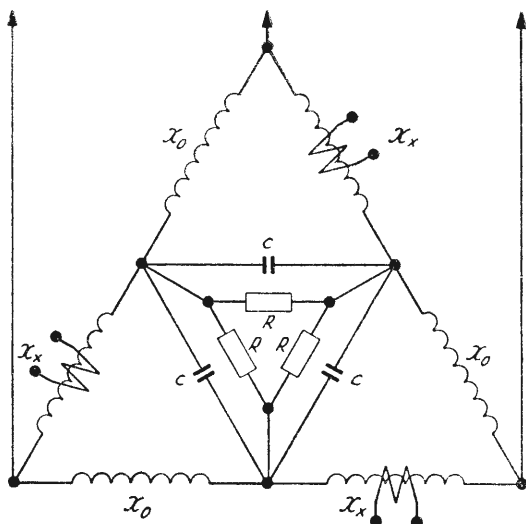


Fig. 74 - Sfasatore a triangolo per raddrizzatori esafasi a gas, controllabili con griglia.

X_0 - Reattanza fissa
 X_x - Reattanza variabile

C - Condensatore
 R - Resistenza

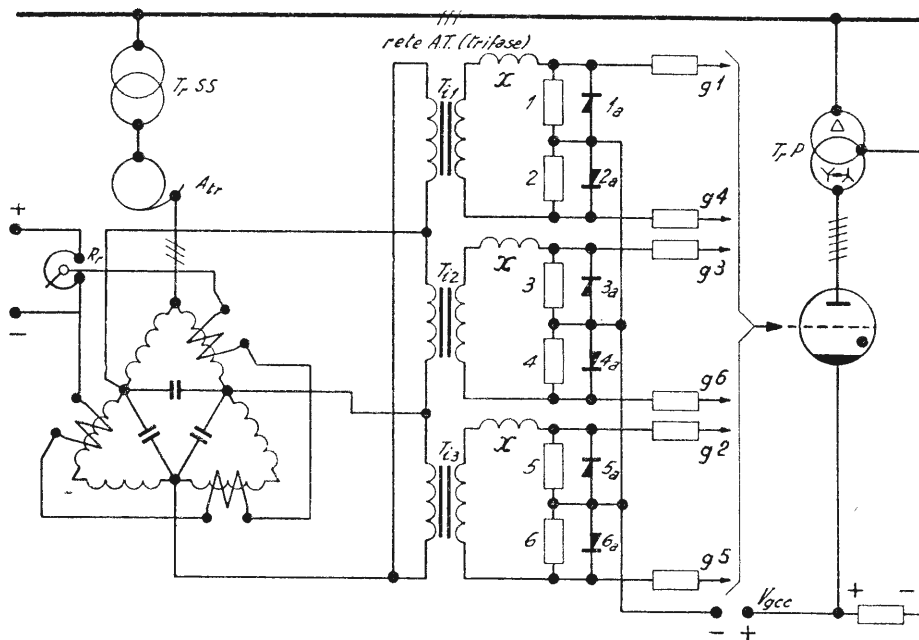


Fig. 75 - Controllo di griglia per ampolla esafase.

T_{rSS} - Trasformatore servizi sincroni
 T_{rP} - Trasformatore anodico
 $V_{g\ c.c.}$ - Polarizzazione fissa di griglia
 A_{tr} - Autotrasformatore per l'aggiustaggio dello sfasamento
 R_r - Reostato di riferimento

T_{i1}, T_{i2}, T_{i3} - Trasformatori di isolamento
 $1 \div 6$ - Resistenze
 $1a \div 6a$ - Raddrizzatori
 X - Reattore deformatore
 $g_1 \div g_6$ - Griglie
 $+$; $-$ - Carico.

reattanze X_x le tre tensioni ai capi delle resistenze si mantengono angolate di 120° tra loro, costanti di ampiezza e ruotano simultaneamente percorrendo (per X_x , pura reattanza, variabile da zero a infinito) un angolo pari a 240° .

In realtà X_x non è una pura reattanza e non può variare da zero ad infinito, perciò l'angolo di rotazione sarà inferiore ma sempre superiore ai 180° occorrenti per controllare, come è noto, un tubo a gas.

L'alimentazione del circuito è ovviamente trifase (fig. 75) e siccome in pratica proviene da un trasformatore, detto « dei servizi sincroni » diverso da quello che alimenta gli anodi del cilindro esafase, è previsto un aggiustaggio intermedio di fase (sino a $\pm 10^\circ \div 20^\circ$) per mezzo dell'autotrasformatore a prese A_{tr} .

Con questo autotrasformatore si fa combaciare il campo di sfasamento delle griglie rispetto agli anodi compensando eventuali sfasamenti residui dovuti a leggere diversità « elettriche » fra trasformatore anodico e trasformatore dei servizi sincroni (i primari di questi trasformatori sono collegati alla stessa linea di alimentazione).

Il collegamento delle fasi allo sfasatore deve seguire inoltre un certo ordine perchè se si collegano le fasi in senso inverso lo sfasatore non funziona più. Di ciò bisogna tener conto quando si eseguono i collegamenti iniziali alla rete; tralasciamo di darne la ragione per non appesantire la nostra chiacchierata.

La variazione delle (X_x) è realizzata saturando più o meno i nuclei per mezzo degli avvolgimenti di eccitazione, percorsi da corrente continua fornita dal circuito regolatore che abbiamo sintetizzato nel resotato (R_r). Siccome infine il nucleo dei reattori non è di materiale speciale ed i condensatori filtrano le armoniche, le tre tensioni ai secondari dei trasformatori di isolamento sono quasi perfettamente sinusoidali.

I secondari dei trasformatori di isolamento sono caricati ognuno su due resistenze, shuntate da raddrizzatori, in serie ed i punti comuni alle resistenze sono collegati tra loro e al catodo del cilindro raddrizzatore. Prima delle resistenze sono presenti tre reattori deformatori, di cui si è parlato in precedenza (fig. 51), e perciò la forma d'onda della tensione ai capi delle resistenze di carico è quella di fig. 76.

La funzione dei raddrizzatori a secco che shuntano le due resistenze di carico (in serie) è di ottenere ai capi di una di esse, alternativamente, tutta la tensione a fronte ripido, generata come si è detto.

Si ha così che gli impulsi positivi (fig. 76) sono ricavabili dagli estremi dei resistori 1, 3, 5, quelli negativi, dagli estremi dei resistori 2, 4, 6, perchè nel primo caso i raddrizzatori 2_a , 4_a , 6_a cortocircuitano le resistenze 2, 4, 6 e nel secondo caso i raddrizzatori 1_a , 3_a , 5_a cortocircuitano 1, 3, 5.

La tensione continua (negativa rispetto le griglie) V_{gcc} serve per mantenere le griglie fuori del potenziale di accensione quando non sono presenti gli impulsi a fronte ripido.

A completamento del circuito diremo che i trasformatori di isola-

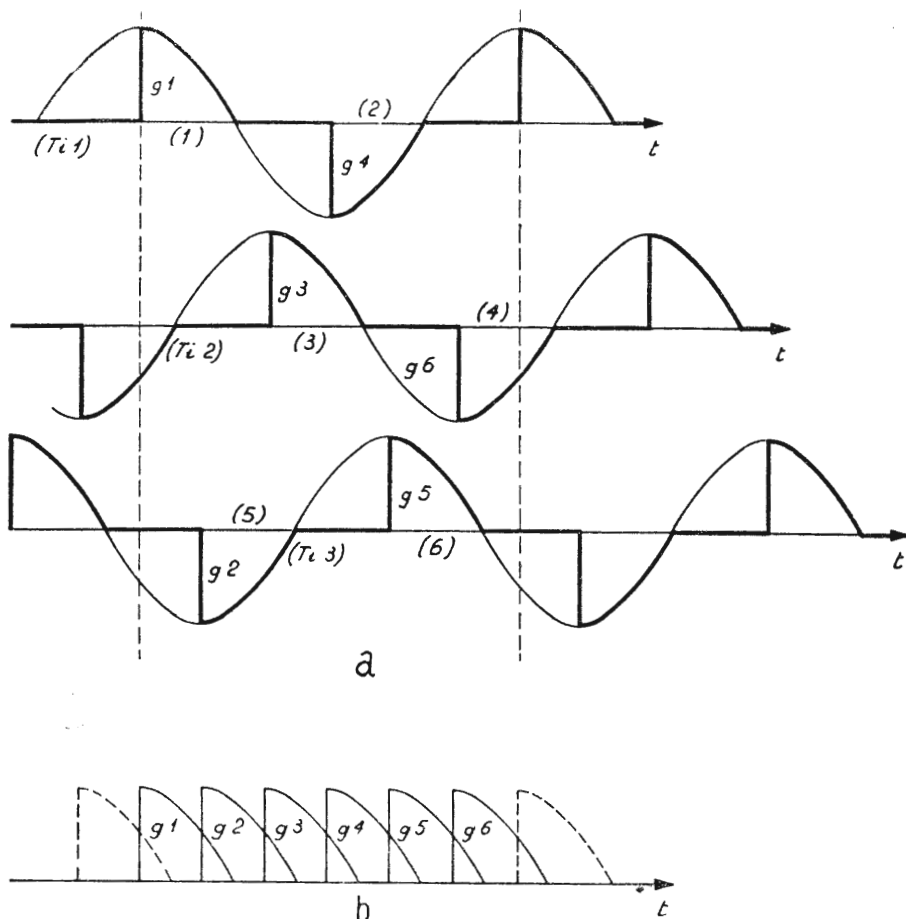


Fig. 76 - Forma d'onda delle tensioni (in grassetto) a valle dei reattori deformatori «x» di fig. 75.
 Nella fig. 76-a le linee più sottili sotto le tensioni fornite dai trasformatori di isolamento. In grassetto le tensioni che compaiono ai capi delle resistenze: 1 ÷ 6 (si suppone: X non saturate con impedenza infinita; X saturate con impedenza zero).
 Nella fig. 46-b sono rappresentati i segnali inviati alle griglie $g_1 \div g_6$ nell'ordine previsto a meno della polarizzazione fissa.
 $Ti_1 - Ti_2 - Ti_3$ - Trasformatori di isolamento relativi ai treni di segnali
 (1) ÷ (6) - Resistenze ai capi delle quali compaiono i segnali singoli
 $g_1 \div g_6$ - Griglie comandate dai segnali citati in precedenza
 t - Tempo.

mento sono previsti perchè la « zona delle griglie » è necessario sia opportunamente isolata dal resto del circuito di controllo per le elevate tensioni (in genere 600 ÷ 800 V) fornite alle sbarre a c.c., dai cilindri raddrizzatori di potenza.

Il circuito più diffuso per i circuiti elettronici con tubi a gas di piccola potenza prevede invece la generazione diretta del segnale di griglia già

deformato con autopolarizzazione negativa delle griglie, ossia con la creazione della componente V_{gcc} senza l'ausilio di una sorgente separata.

Il circuito base serve per due tubi funzionanti come raddrizzatori a due semionde (fig. 77); nei circuiti tetrafasi ed esafasi il circuito viene ripetuto due e rispettivamente tre volte alimentandolo naturalmente con tensioni opportunamente sfasate.

Il circuito sfasatore è fondamentalmente costituito da una resistenza e da un reattore saturabile il cui nucleo è di materiale a ciclo di isteresi rettangolare. Gli elementi del circuito sono dimensionati in modo che quando il reattore non è saturato la tensione fornita alle griglie è in controfase (sfasata di 180°) con quella anodica, e quando il reattore è saturato le due tensioni sono in fase.

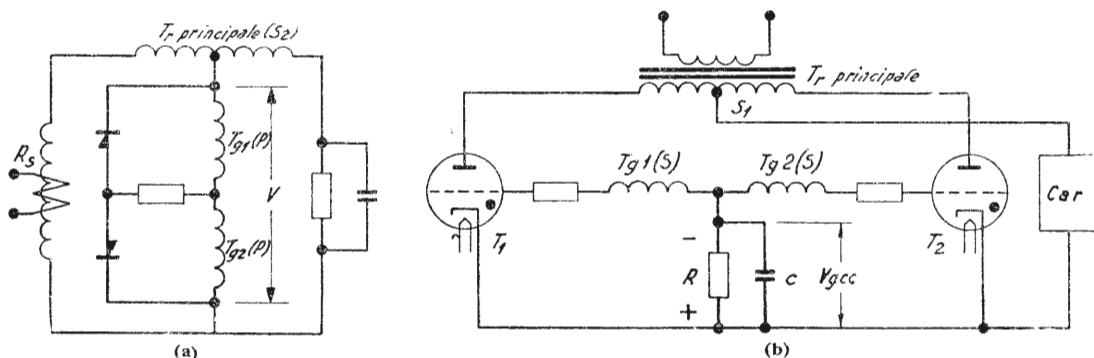


Fig. 77 - Circuito sfasatore orizzontale e deformatore (a) e polarizzazione negativa automatica di griglia (b) applicata a un raddrizzatore a due semionde con tubi a gas.

T_r - Trasformatore
 S_1, S_2 - Secondari del trasformatore
 Car - Carico
 R_s - Reattore saturabile deformatore
 T_{g1}, T_{g2} - Trasformatori di griglia (P - primario S - secondario).

V - Tensione al primario dei trasformatori di griglia
 T_1, T_2 - Tubi a gas
 R - Resistore
 C - Condensatore
 V_{gcc} - Polarizzazione automatica.

Il reattore (R_s) è formato da un nucleo ferromagnetico a ciclo di isteresi rettangolare con ginocchio di saturazione fortemente pronunciato, in altre parole, in condizioni di saturazione la sua impedenza cade praticamente a zero.

Questo reattore è doppio in modo da poterlo saturare durante ambedue i semiperiodi della tensione c.a. applicata ai suoi estremi per mezzo della corrente di eccitazione (c.c.) che viene applicata all'avvolgimento omonimo. Le cose sono disposte in modo che, durante ciascun semiperiodo della tensione c.a. applicata, variando la corrente continua che percorre l'avvolgimento di eccitazione, varia l'istante in cui il reattore si satura ossia l'angolo di saturazione del reattore stesso (*).

(*) Per maggiori delucidazioni vedasi il quaderno «Tubi elettronici nell'industria», dello stesso Autore.

Supponiamo ad esempio che la corrente di eccitazione sia tale che il reattore si saturi in corrispondenza del massimo della tensione c. a. (angolo di saturazione 90°); allora, per quanto abbiamo detto in precedenza, durante la prima metà del semiperiodo positivo della tensione anodica dei tubi a gas controllati, il reattore non è saturato e la componente alternata del segnale di griglia è in opposizione alla tensione anodica (fig. 78) ossia è negativa; in queste condizioni il tubo rimane spento. A metà del semiperiodo il reattore si satura ed allora la componente alternata della tensione di griglia risulta in fase con quella anodica, ossia positiva ed allora il tubo si accende.

Il passaggio avviene in modo brusco a causa del ciclo rettangolare di isteresi del nucleo del reattore.

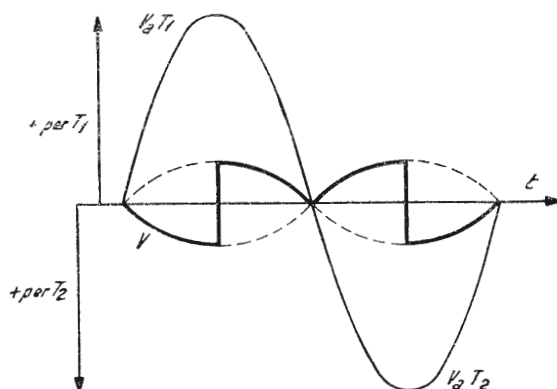


Fig. 78 - Forma d'onda della tensione V di fig. 77.

V_a - Tensione anodica dei tubi T_1 - T_2
 V - Tensione al primario di T_{g1} - T_{g2}
 t - Tempo.

Variando la corrente continua di eccitazione si varia perciò l'angolo di conduzione dei tubi.

Alla fine del semiperiodo il reattore si dissatura e il ciclo riprende per l'altro tubo.

Per la alimentazione di due tubi, il trasformatore di griglia alimentato dallo sfasatore è composto da due trasformatori i cui primari sono shuntati da due raddrizzatori che ricordano quelli menzionati parlando dello sfasatore trifase di un cilindro esaanodico.

A causa di questi raddrizzatori le semionde di un segno vanno ad un trasformatore perchè l'altro risulta cortocircuitato e viceversa avviene per le semionde di corrente di segno opposto.

La autopolarizzazione negativa di griglia si spiega abbastanza facilmente, considerando il circuito formato dal secondario dei trasformatori di griglia, dalle griglie e dal catodo dei tubi. Questo circuito rappresenta un raddrizzatore a due semionde dove le griglie fungono da anodi e, quando

sono positive, scorre una piccola corrente, limitata dalla resistenza del circuito perchè le griglie non sono previste per dissipare potenza.

In conclusione, ai capi di R (fig. 77-b) compare dal lato delle griglie, una tensione negativa che carica il condensatore C .

La polarizzazione è indispensabile per impedire che i tubi si accendano, all'inizio del semiperiodo positivo, in contrasto col comando previsto. Dalla fig. 79, si vede infatti che, preso ad esempio il caso di parzializza-

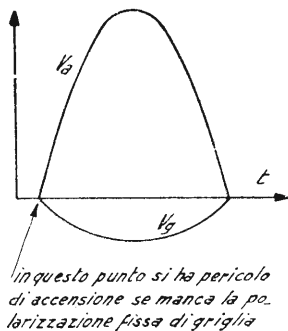


Fig. 79 - Condizioni di incertezza all'accensione di un tubo a gas in caso di opposizione tra tensione anodica e di griglia senza polarizzazione fissa.

V_a - Tensione anodica
 V_g - Tensione di griglia
 t - Tempo.

zione totale (angolo di conduzione zero), la tensione di griglia è in opposizione a quella anodica; all'inizio del semiperiodo positivo della tensione anodica però, la griglia è pochissimo negativa rispetto al catodo e i piccoli disturbi esterni, come pure un leggero spostamento dello sfasamento dovuto a « drift » dei componenti il circuito sfasatore, possono provocare l'indesiderata accensione del tubo. La polarizzazione negativa (V_{gce} come l'abbiamo chiamata) serve ad evitare questa possibilità.

PARTE IV

CIRCUITI COMPLETI

Riuniamo in questa parte alcuni schemi di circuiti elettronici industriali, scelti in modo da illustrare, con qualche esempio, come vengono impiegati i circuiti elementari descritti in precedenza.

CAPITOLO I.

RELÈ ELETTRONICO A TEMPO

Lo schema di fig. 80 ci mostra il tubo T nel cui circuito anodico è inserita la bobina del relè X (si tratta in genere di un relè telefonico); il tubo T , quando conduce, si comporta come un semplice raddrizzatore a mezza onda ed il condensatore C_2 serve a « spianare » la corrente che attraversa X , in modo che questo non vibri, data la forte componente alternata presente nel raddrizzamento a mezza onda e la piccola costante di tempo delle bobine dei relè telefonici.

Colleghiamo il relè alla rete; siccome S è aperto, il tubo T non può condurre ed X rimane diseccitato. Durante questo periodo però il circuito di griglia del tubo risulta già collegato alla sorgente (fig. 81-a), secondo uno schema di raddrizzatore a mezza onda dove la griglia funge da anodo; in conseguenza di ciò, durante ogni semiperiodo in cui B è positivo rispetto A , passa una piccola corrente attraverso R_1 e C_1 si carica; durante i successivi semiperiodi, C_1 tende a scaricarsi attraverso R_1 ma la costante di tempo è molto elevata ($0,1 \mu F \cdot 3 M\Omega = 0,3''$ che equivalgono a 15 periodi se la frequenza di rete è 50 Hz) e perciò, in pratica, C_1 rimane caricato generando un potenziale negativo rispetto B verso la griglia. Tale potenziale

è abbastanza prossimo al valore di cresta della tensione tra B ed A durante i semiperiodi di possibile conduzione, perchè 1) un condensatore tende a caricarsi al valore massimo della tensione applicata ai suoi morsetti; 2) la resistenza R_1 è preponderante sul totale della resistenza del circuito.

Stando così le cose, quando chiudiamo S , al primo istante, la griglia si troverà fortemente negativa rispetto al catodo ed il tubo non conduce. In seguito C_1 si scarica attraverso R_1 diminuendo il potenziale negativo della griglia fino a che il tubo conduce provocando l'eccitazione di X .

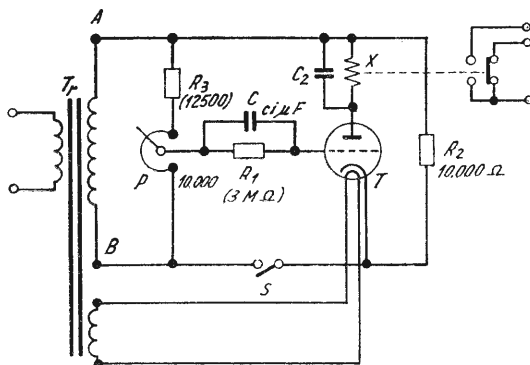


Fig. 80 - Schema di temporizzatore elettronico.

- T_r - Trasformatore
- $A-B$ - Morsetti (vedi testo)
- P - Potenzimetro calibratore del ritardo
- $R_1-R_2-R_3$ - Resistenze
- C_1-C_2 - Condensatori
- X - Bobina del relè e suoi contatti (disegnati di fianco)
- T - Tubo a vuoto
- S - Contatto di inserzione

Per variare il ritardo della eccitazione di X è previsto il potenziometro P ; quando il cursore di questo potenziometro è dalla parte del morsetto B il potenziale di griglia è « formato » dalla sola caduta ai capi di R_1 e perciò il tempo di ritardo risulta t_0 (fig. 81-b).

Spostando il cursore di P verso il morsetto A , alla caduta precedente si sovrappone una componente alternata che, come risulta chiaramente dalla fig. 81-b, fa sì che la griglia raggiunga prima il potenziale che riesce a rendere conduttore il tubo quanto basta per eccitare X .

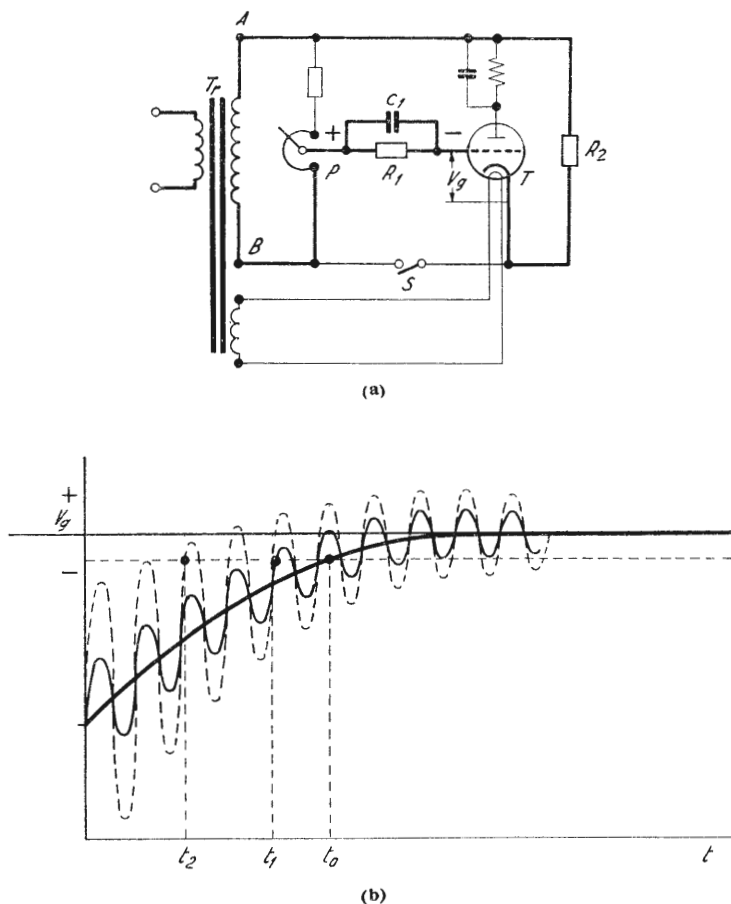


Fig. 81 - Circuito a riposo (a) del relè di fig. 80 e andamento (b) della tensione di griglia del tubo temporizzatore per tre valori della componente alternata fornita di P.

- T_F - Trasformatore
- $A-B$ - Morsetti (vedi testo)
- P - Potenzimetro calibratore del ritardo
- R_1-R_2 - Resistenze
- C_1 - Condensatore
- T - Tubo a vuoto
- S - Contatto di inserzione
- t - Tempo
- $t_1-t_2-t_0$ - Ritardi corrispondenti a varie posizioni del cursore di P.
- V_g - Tensione griglia/catodo del tubo T.
(Tratteggiata orizzontale: valore di V_g che rende conduttore T in modo da eccitare il relè).

CAPITOLO II

REGOLAZIONE ELETTRONICA DI POSIZIONE COMANDO DI UNA SARACINESCA

Un circuito molto semplice per realizzare la regolazione (e il comando a distanza) della posizione di una saracinesca è indicato nella fig. 82 dove la posizione richiesta è fissata per mezzo del potenziometro A (Reostato di posizione). Alla saracinesca è collegato un secondo potenziometro (B) (Reostato ripetitore) e, quando i cursori dei due potenziometri si corrispondono angolarmente, nessuna corrente attraversa il primario del trasformatore $1T$ il quale è provvisto di un secondario a presa centrale, i cui estremi sono collegati alle griglie dei tubi $1a$ ed $1b$ (sono i due elementi di un doppio triodo).

Il potenziale di riposo dei predetti tubi è scelto per mezzo del potenziometro P e può essere più o meno negativo rispetto al catodo, per esempio sarà tale da mantenere conduttori i due tubi.

Da notare che il circuito è alimentato in c.a., trasformata in corrente continua pulsante dai tubi stessi, e che alternata è pure la tensione di griglia fornita da P ; diremo perciò che il potenziometro è graduato in modo tale che la tensione di griglia è in fase o in controfase con la tensione anodica e di ampiezza variabile.

Anche i tubi $2a$ e $2b$ sono alimentati tra anodo e catodo con una tensione in fase a quella anodica che alimenta i tubi $1a$ e $1b$; le griglie dei tubi $2a$ e $2b$ sono invece collegate agli anodi dei primi e, a causa della rilevante caduta ai capi di $3R$ e $4R$ durante i semiperiodi di conduzione dei primi, mantengono i tubi $2a$ e $2b$ all'interdizione.

Concludendo: quando i due potenziometri A e B si trovano in posizione di equilibrio, i relè $1CR$ e $2CR$ rimangono diseccitati.

Muoviamo ora il cursore del potenziometro A a destra; allora $1T$ risulta alimentato da una tensione alternata che, sovrapponendosi al secondario, alla tensione di griglia dei tubi $1a$ e $2a$, risulta in fase per la ten-



- A* - Reostato di posizione
- B* - Reostato ripetitore
- 1T* - Trasformatore di comando
- 2T* - Trasformat. di alimentazione
- P* - Potenziom., di messa a punto
- 1a-1b-2a-2b* - Tubi elettronici
- 1R-2R-3R-4R* - Resistenze
- 1CR-2CR* - Relè di comando
- Apri-Chiude* - Contattori di inserzione del motore *M*.
- M* - Motore che muove la saracinesca
- S_{ar}* - Saracinesca
- Rid* - Riduttore
- 1C ÷ 4C* - Condensatori
- 1c-1c1-c2* - Fine corsa

sione di griglia di un tubo (per es. *1a*) ed in controfase per la griglia dell'altro (*1b*).

91

tubo $2a$ e perciò il relè $1CR$ rimane diseccitato; il tubo $1b$ invece, per la diminuzione della tensione di griglia che lo pilota, diviene non conduttore, per cui diminuisce la caduta ai capi di $4R$, la tensione di griglia del tubo $2b$ risulta in fase con la tensione anodica, il tubo $2b$ conduce ed il relè $2CR$ si eccita chiudendo la alimentazione del motore (M) che si mette in moto; lo spostamento della saracinesca infine, mette in movimento il cursore del potenziometro B sino a che questo raggiunge una nuova posizione di equilibrio che annulla la tensione al primario di $1T$.

E' inteso che il collegamento tra saracinesca e potenziometro B deve essere tale che, spostando il cursore di A da una condizione di equilibrio, quello di B venga obbligato a muoversi nel senso di annullare ancora la tensione al primario di $1T$.

Calibrando P , si può regolare il grado di sensibilità del circuito, perchè tanto minore è la tensione a riposo applicata alle griglie dei tubi $1a$ e $1b$ (purchè la loro conduzione basti a tenere diseccitati $1CR$ e $2CR$), tanto minore sarà lo spostamento relativo tra reostato di posizione e ripetitore occorrente per eccitare uno dei relè e mettere perciò in funzione il circuito regolatore di posizione.

CAPITOLO III

AZIONAMENTO REVERSIBILE COMANDO PER SALDATRICE AD ARCO SOMMERSO

Le saldatrici ad arco sommerso sono largamente impiegate per saldature lunghe come quelle richieste, ad esempio, per i grandi serbatoi in lamiera.

Per eseguire queste saldature, un carrello si muove a velocità prestabilita lungo i bordi da saldare spingendo contro di essi l'elettrodo in maniera continuativa (fig. 83). L'arco scocca fra i bordi e l'elettrodo, che fonde man mano, depositandosi su di essi e si chiama « sommerso » perchè, nella zona dove « lavora », cade un getto continuo di materiale siliceo che impedisce l'ossidazione e viene asportato manualmente alla fine dell'operazione (non indicato per semplicità nella fig. 83).

Il movimento di avanzamento del carrello può essere realizzato con un azionamento che ricorda lo schema di fig. 69 e che tralasciamo per semplicità; l'azionamento dell'elettrodo è del tipo reversibile ed il circuito è indicato nella fig. 84.

La grandezza da regolare è la tensione o caduta d'arco che viene rad-drizzata dal tubo V_1 e trasformata in tensione di reazione ai capi di R_o .

La tensione di riferimento è presente tra g_2 di V_2 ed il cursore del potenziometro P_1 ; a questa si sottrae la tensione di reazione e la differenza è applicata alla griglia g_1 del doppio triodo V_2 , mentre l'altra griglia è a potenziale fisso. I due elementi del tubo V_2 formano una coppia « a bilancia » (« long tailed pair » descritta nella parte II, Cap. V), che alimenta gli avvolgimenti in c.c. di due sfasatori, i quali a loro volta pilotano due tiratroni che alimentano nei due sensi il motore a c.c. di avanzamento dell'elettrodo.

(Nota: l'elettrodo è rappresentato da un filo di materiale opportunamente avvolto su un tamburo dal quale il motore lo svolge per mezzo di due rulli di alimentazione).

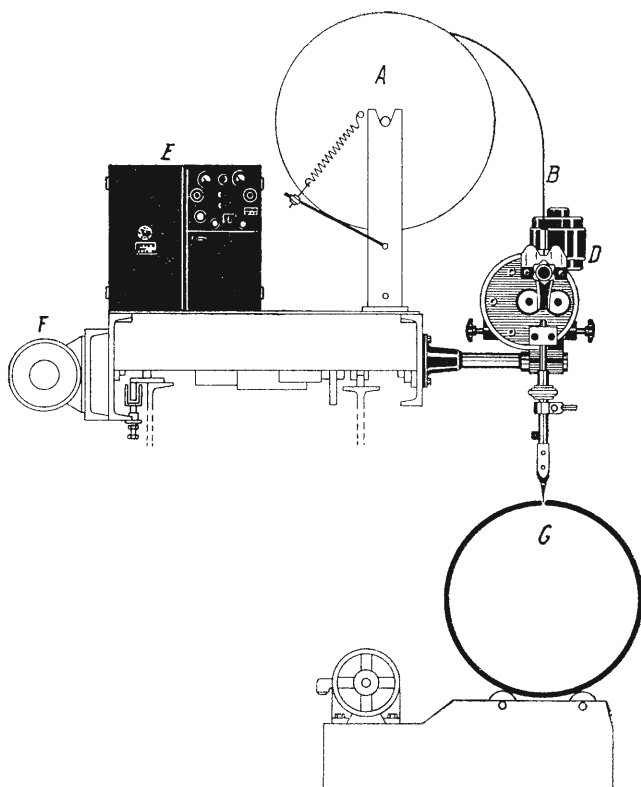


Fig. 83 - Saldatrice ad arco sommerso.

- | | |
|-----------------------------------|---|
| A) Aspo svolgitoro dell'elettrodo | D) Motore di avanzamento dell'elettrodo |
| B) Elettrodo | E) Pannello elettronico |
| G) Serbatoio da saldare | F) Motore di avanzamento del carrello |

Il potenziometro P_2 serve alla messa a punto iniziale; i due resistori R_1 ed R_2 sono equivalenti alle due metà di un secondario di trasformatore a presa centrale di cui gli estremi sono collegati alle placche di V_1 . La regolazione avviene in questo modo: se, per esempio, la distanza tra i bordi da saldare e l'elettrodo tende ad aumentare per il consumo di quest'ultimo, cresce la caduta d'arco ossia la tensione ai capi di R_0 facendo diminuire la tensione di griglia (griglia g_1) dell'elemento di sinistra di V_2 ; a causa di ciò la corrente che attraversa PS_1 diminuisce e cresce quella che attraversa PS_2 e di conseguenza uno dei tubi a gas conduce più dell'altro mettendo in moto il motore (M) nel senso di far avanzare l'elettrodo sino a ripristinare la tensione d'arco richiesta (e prefissata agendo al potenziometro P_1).

Il tubo V_3 infine è un raddrizzatore a due semionde che fornisce la tensione continua per l'alimentazione del circuito.

CAPITOLO IV

THYMOTROL A DUE SEMIONDE PER MOTORE A C. C. A CAMPO COSTANTE

Thymotrol è il nome, depositato, che la G. E. Co. americana e le sue consociate hanno dato ai circuiti elettronici con tubi a gas (tiratroni) impiegati per l'alimentazione di motori a c.c. (Thyratron - motor - control). Il circuito caratteristico di un thymotrol è illustrato nella fig. 85 e noi ora lo « sezioneremo » per facilitarne la comprensione descrivendolo « per parti ».

Generalità.

Un thymotrol prevede la alimentazione di un motore a c.c., la regolazione della sua velocità, la limitazione del carico cui può essere sottoposto e la compensazione di caduta.

Il thymotrol che descriveremo non è reversibile; il motore è a campo costante; per la regolazione della velocità si prevede infine di confrontare la tensione di armatura del motore con una tensione di riferimento fornita da un potenziometro (detto « reostato di velocità ») alimentato a sua volta da tensione stabilizzata per mezzo di tubi stabilovolt.

La compensazione di caduta serve per ottenere il funzionamento insensibile al carico quando il motore è a bassa velocità.

Controllo della tensione di armatura.

Nella fig. 86 si vede che una frazione della tensione di armatura del motore a c.c. (M) è applicata alla griglia del tubo « A » e che il catodo viene portato ad una tensione variabile per mezzo di Rv . La variazione del potenziale dell'anodo di A viene applicato, attraverso un partitore di tensione, alla griglia del tubo C sul cui circuito anodico è l'avvolgimento in c.c. dello sfasatore dei due tubi a gas che alimentano la armatura del motore M .

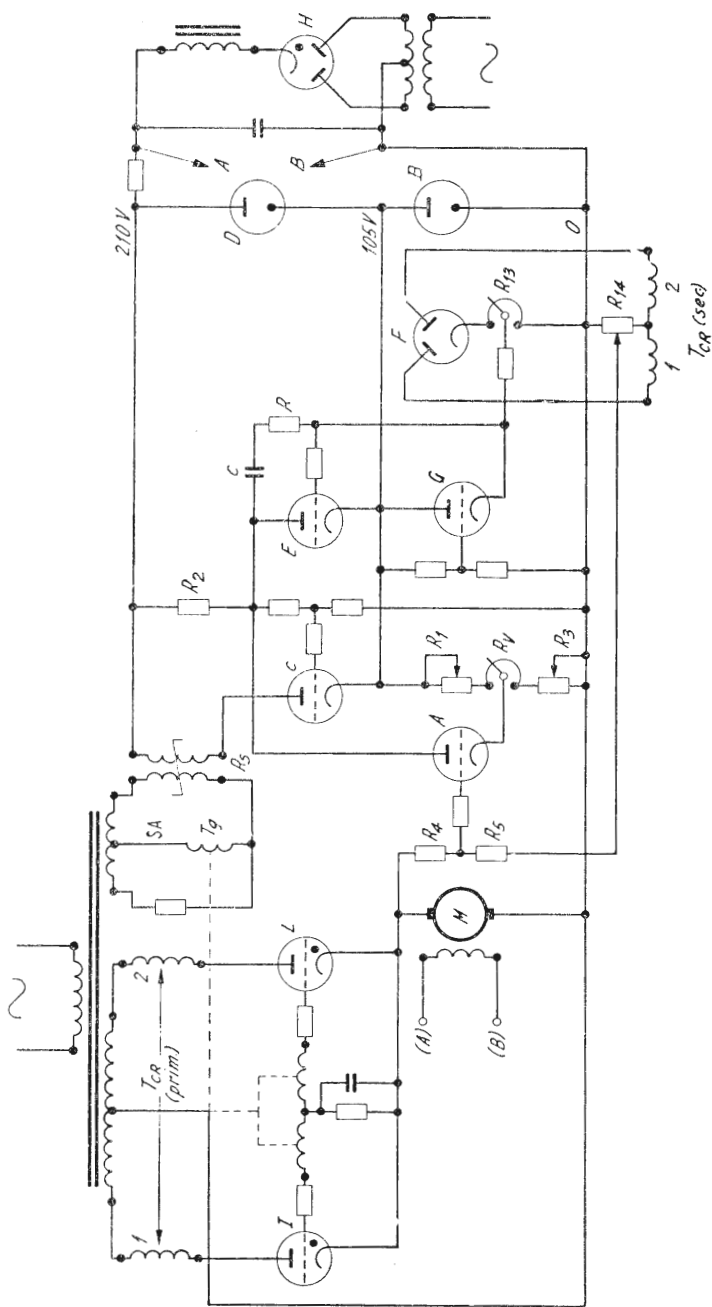


Fig. 85 - Circuito caratteristico di un Thymotrol.

M - Motore a c.c.
 A, G - Tubi a vuoto
 H, I, L - Tubi a gas
 RS - Reattore saturabile
 SA - Sfasatore
 T_{CR} - Trasformatore di corrente
 RV - Reostato di velocità
 $R_1, R_2, \dots$ - Resistenze e reostati

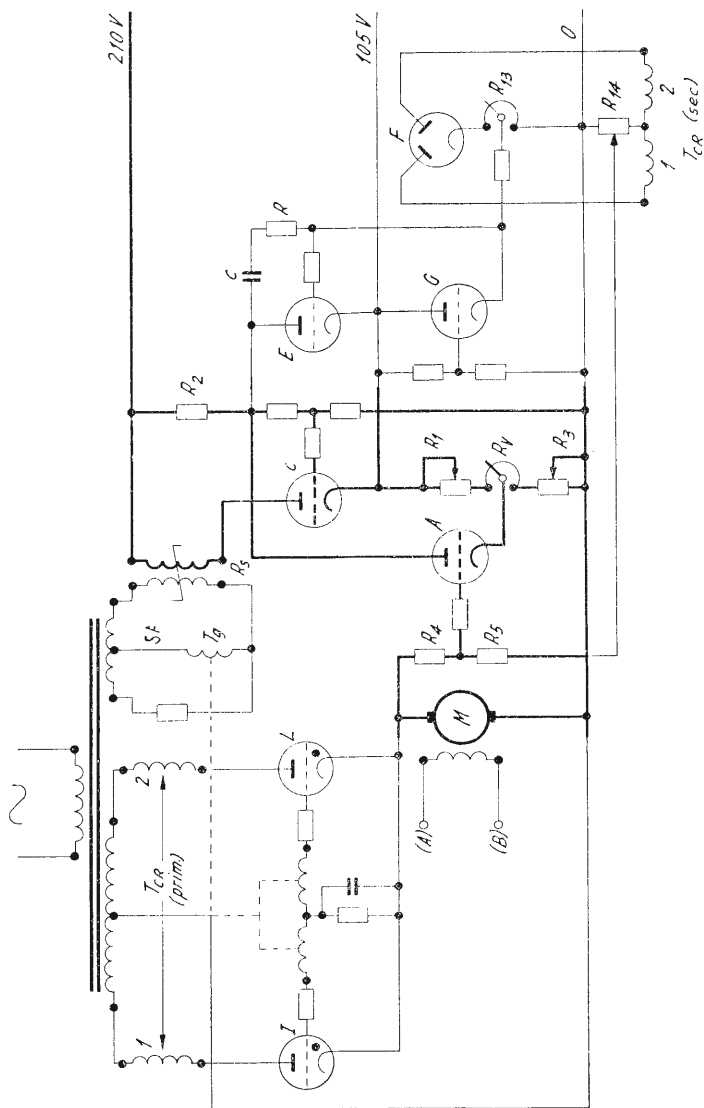


Fig. 86 - Circuito di fig. 85 con in evidenza il controllo della tensione ai morsetti di M.

M - Motore a c.c.
 A, G, I, L - Tubi a vuoto
 H, L - Tubi a gas
 RS - Reattore saturabile
 SA - Sfasatore
 TOR - Trasformatore di corrente
 RV - Reostato di velocità
 $R_1, R_2, \dots$ - Resistenze e reostati

Supponiamo di partire da una condizione di regime e che il motore M (per esempio, a causa del carico) diminuisca di velocità. In queste condizioni, diminuisce il potenziale di griglia di « A » e di conseguenza la sua corrente anodica e la caduta ai capi di R_2 , che a sua volta fa aumentare il potenziale di griglia del tubo « C » e la corrente che attraversa R_3 ; allora lo sfasatore aumenta l'angolo di conduzione dei tubi a gas, forzando il motore a riprendere la velocità richiesta.

L'equilibrio è dato dalla relazione che il tubo « A » fissa tra la tensione applicata alla griglia e la tensione alla quale si trova il catodo, fornitagli dal reostato di velocità.

Data l'elevata amplificazione ottenibile con i tubi « A » e « C », la relazione risulta molto stretta.

Per la messa a punto del campo di velocità si utilizzano due resistori aggiustabili R_3 ed R_1 .

Portato il reostato Rv a zero (cursore verso il cavo « O ») si regola R_3 sino ad ottenere, con motore a vuoto, la minima velocità richiesta; si porta in seguito il cursore « al massimo », ossia verso il cavo « 105 V », e si aggiusta R_1 sino ad ottenere la massima velocità prevista; ci si può anche aiutare modificando il rapporto tra R_4 ed R_5 a patto di lasciare la loro somma inalterata, ma il loro valore è già fissato in fabbrica per ottenere tutti i campi di velocità possibili col circuito descritto.

Compensazione di caduta.

Quando il motore deve funzionare a velocità molto basse, la variazione di velocità effettiva, da vuoto a carico, risulta percentualmente sensibile perchè la grandezza regolata è in realtà la tensione ai suoi morsetti e perciò viene « lasciata fuori » la caduta interna del motore e quella del cavo che collega l'armadio del thymotrol al motore.

Questa caduta, espressa in percento della velocità base (massima velocità del motore a pieno campo) è circa il $3 \div 5\%$ ed essendo una costante in valore assoluto, se il motore è chiamato a funzionare ad un decimo (per esempio) della velocità base, questa caduta diventa, percentualmente, il $30 \div 50\%$. Se poi si vuole raggiungere una velocità minima pari a $1/33 \div 1/20$ della velocità base, il motore, quando gli viene applicato il carico, si ferma e, infine, tenendo conto che la corrente di spunto è in genere dell'ordine di $2 \div 3$ volte la corrente nominale, si conclude che risulterà generalmente impossibile avviare il motore anche a $1/10$ della velocità base. Questo inconveniente viene evitato con l'aggiunta della compensazione di caduta come si può vedere nella fig. 87.

Nei circuiti anodici dei tiratroni sono previsti due riduttori di corrente che alimentano un raddrizzatore a due semionde, costituito dal tubo « F »; il carico del raddrizzatore è dato dal potenziometro R_{13} di cui parleremo in seguito e dal resistore R_{14} con presa aggiustabile. A questa presa è collegato un estremo del resistore R_5 e perciò ai morsetti del motore M risultano collegati i resistori R_4 ed R_5 ed una parte del resistore R_{14} .

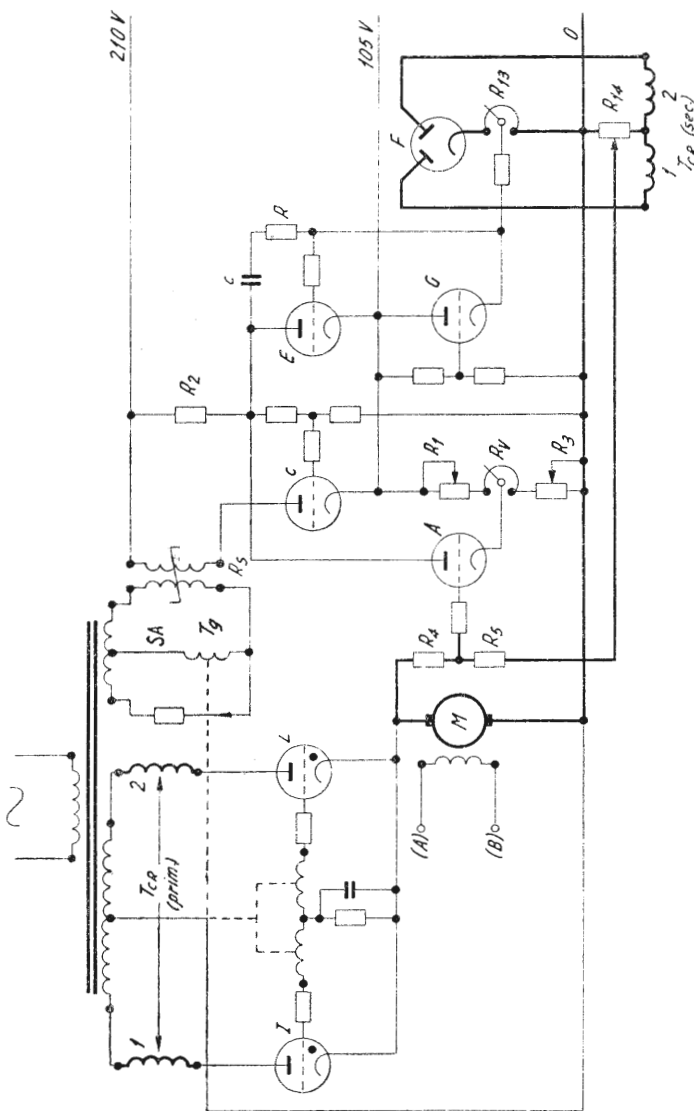


Fig. 87 - Circuito di fig. 85 con in evidenza il particolare per la compensazione di caduta.

- M - Motore a c.c.
 A - G - Tubi a vuoto
 H, I, J, L - Tubi a gas
 RS - Reattore saturabile
 SA - Sfasatore
 TCR - Trasformatore di corrente
 RV - Reostato di velocità
 $R_1, R_2, \dots$ - Resistenze e reostati

Da quanto esposto in precedenza si può allora concludere che la tensione che pilota la griglia del tubo « A », col crescere della corrente che alimenta il motore diminuisce come se diminuisse la tensione ai morsetti del motore stesso, e perciò il circuito di regolazione reagirà aumentando questa tensione. La presa di R_{14} viene aggiustata in modo da compensare la caduta interna del motore, rilevabile variandone il carico e controllando la velocità con un tachimetro, in corrispondenza della minima velocità (a vuoto) del motore stesso. La compensazione di caduta ha effetto, in pratica, sino a circa il 50 % della velocità base del motore perchè, alle maggiori velocità, la relazione tra segnale pilota, tra griglia e catodo del tubo « A », e tensione di alimentazione del motore M « si incurva », come avviene per la curva di magnetizzazione di un generatore a c.c. a causa della saturazione. Alle maggiori velocità, però, la caduta ha un peso percentuale molto piccolo (il $3 \div 5$ % di caduta che abbiamo indicato in precedenza) e perciò può essere trascurata nella maggior parte degli impieghi dei thymotrol.

Limitazione di corrente.

Il circuito, così come è descritto in precedenza non sarebbe utilizzabile, perchè muovendo bruscamente il reostato di velocità « in aumento », a causa della rilevante amplificazione possibile con i tubi « A » e « C », al motore verrebbe applicata di colpo la piena tensione con conseguente fortissima punta di corrente.

Per evitare questo fenomeno è previsto il circuito limitatore di corrente che utilizza lo stesso raddrizzatore indicato in precedenza.

Nella fig. 88, si vede che il cursore del potenziometro R_{13} è collegato alla griglia del tubo « E »; il catodo del tubo « E » è allo stesso potenziale del catodo del tubo « C » mentre l'anodo del tubo « E » è collegato al resistore R_2 dalla stessa parte dell'anodo del tubo « A ».

Quando la corrente di linea è tale che la tensione tra cavo « O » e cursore del reostato 13 (+) rende conduttore il tubo « E », la corrente che passa attraverso questo tubo aumenta la caduta ai capi di R_2 , bloccando, attraverso il tubo « C » e lo sfasatore, l'ulteriore aumento della tensione che alimenta M , ossia la corrente di linea.

Per fare un esempio, supponiamo che il motore giri alla minima velocità, potenziometro R_v a zero, e portiamo di colpo il cursore di R_v a metà corsa; il potenziale del catodo di « A » sale e siccome, al primo istante, il motore è ancora alla minima velocità e la tensione che lo alimenta è quella precedente, il tubo « A » viene portato all'interdizione; a causa di ciò, attraverso il tubo « C » e lo sfasatore, l'angolo di conduzione dei tubi viene portato al massimo, ossia al motore viene applicata la tensione massima e la corrente che ne deriva lo potrebbe danneggiare se, quando questa supera il valore prestabilito con potenziometro R_v , non intervenisse efficacemente il limitatore di corrente.

Nota: Se da una posizione intermedia, portiamo bruscamente il

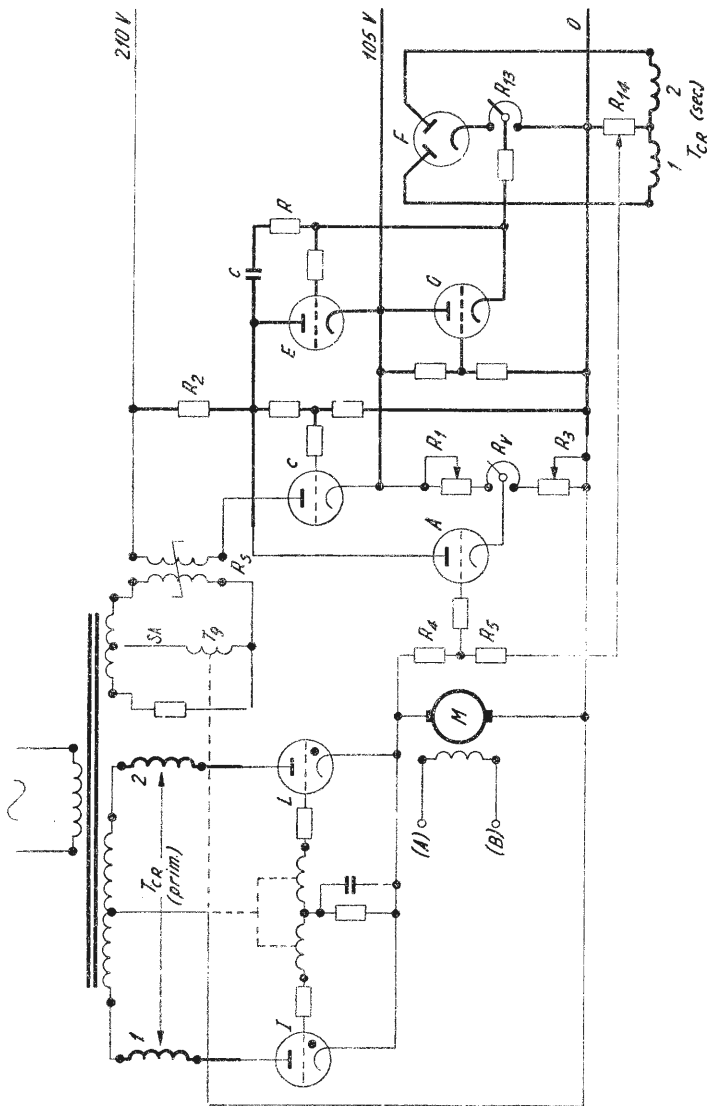


Fig. 88 - Circuito di fig. 85 con in evidenza i rami che concorrono alla limitazione della corrente di linea M.

M - Motore a c.c.

A, G - Tubi a vuoto

H, I, L - Tubi a gas

RS - Reattore saturabile

S4 - Sfasatore

TCR - Trasformatore di corrente

RV - Reostato di velocità

R1, R2, R3, R4, R5 - Resistenze e reostati

potenziometro R_v a zero, il motore decelera per attrito o frenato dal carico soltanto perchè, ragionando come in precedenza, si vede che i tubi a gas vengono portati al minimo di conduzione che corrisponde ad una tensione di alimentazione inferiore a quella del motore; in questo caso però, non essendo prevista la frenatura a recupero, il motore non può scaricarsi attraverso i tubi perchè ciò comporterebbe l'inversione del senso normale della corrente, inversione impedita dalla caratteristica di conduzione unidirezionale dei tubi stessi.

Il circuito limitatore di corrente consente tra l'altro di predisporre la velocità di lavoro a motore fermo, dopo di che l'operatore preme il pulsante di avviamento e il motore accelera sino alla velocità predisposta sotto il controllo del limitatore di corrente.

Per quanto riguarda il tubo « G » rimandiamo a quanto già esposto in precedenza sul circuito « preconditionatore ». (Parte II - Cap. VII)

Osservazioni: Nei circuiti elettronici industriali, raramente si usano tubi più complessi del triodo. Questo criterio consente di diminuire al massimo i tipi di tubo impiegati. In secondo luogo il criterio esposto risulta molto utile nella ricerca dei guasti perchè ad ogni tubo è attribuita una specifica funzione e lo schema risulta, in pratica, semplificato se non altro perchè meglio distribuito all'occhio di chi lo deve consultare.

CAPITOLO V.

CONTROLLO FOTOELETTRICO LUNGO UN TRACCIATO PREDISPOSTO

Generalità

Per tagliare lamiere alla fiamma ossidrica, lungo un contorno prefissato, si impiegano dei dispositivi automatici, detti anche «*pantografi*» perchè, come nei pantografi, un indice segue il percorso disegnato a parte, mentre l'utensile attivo (la matita o il cannello ossidrico che sia) riproduce lo stesso percorso.

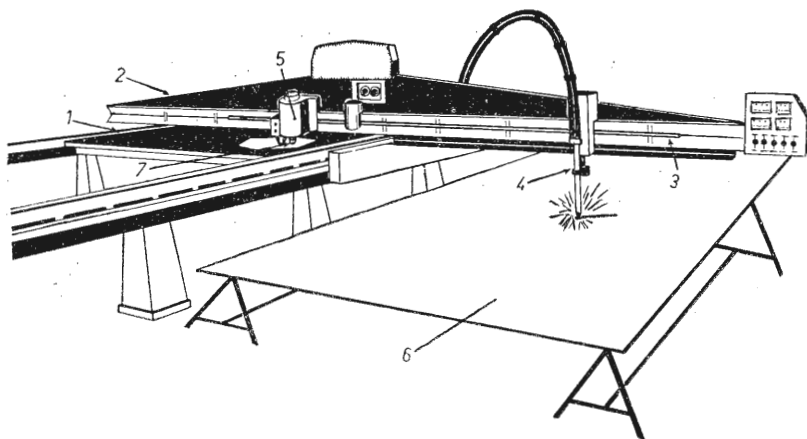


Fig. 89 - Rappresentazione schematica di un pantografo elettrico.

- 1 - Tavola
- 2 - Carro
- 3 - Barra
- 4 - Testa di taglio alla fiamma
- 5 - Testa fotoelettrica
- 6 - Lamiera da tagliare
- 7 - Rotella direzionale.

Nel caso specifico, il cannello muovendosi sulla lamiera, la taglia con la fiamma da esso prodotta.

Tra i pantografi automatici ne scegliamo uno dove una cellula fotoelettrica esplora una linea tracciata su un foglio da disegno, mentre i segnali in corrente alternata da lei trasmessi sono impiegati per guidare il dispositivo lungo la linea stessa.

Descrizione generale del complesso

Il complesso si compone anzitutto da una grande tavola rettangolare (fig. 89) sulla quale fissa il foglio da disegno dove è riportato, in scala 1 : 1, il percorso da seguire. Lungo la tavola può scorrere un carro che a sua volta porta montata una barra la quale può scorrere in senso normale al movimento del carro e sporge dalla tavola. Sulla barra sono fissati uno o più cannelli (si possono tagliare più pezzi contemporaneamente) da una parte, mentre dall'altra, sopra la tavola, è fissato il congegno di guida fotoelet-

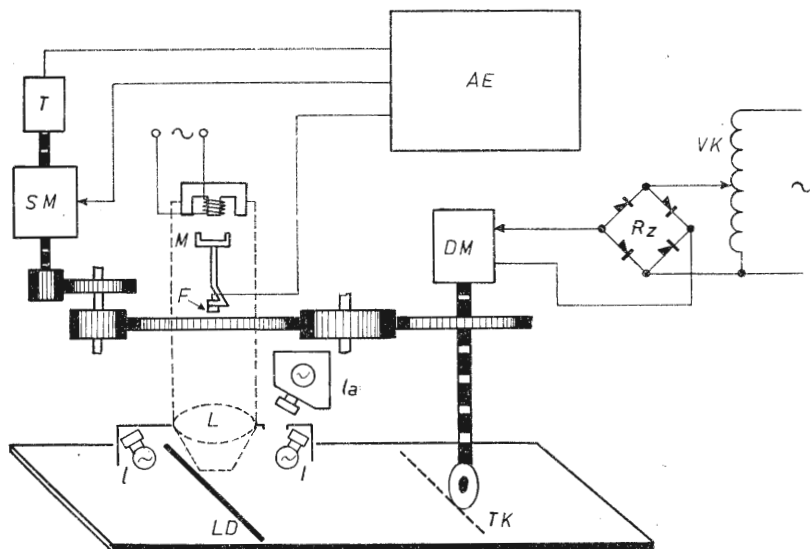


Fig. 90 - Schema generale della testa fotoelettrica.

- AE - Amplificatore elettronico
- T - Tachimetro
- SM - Motore direzionale
- M - Vibratore magnetoelettrico
- F - Fotocellula
- L - Sistema ottico
- l - Lampadina per luce ausiliaria
- la - Luce della macchina luminosa
- DM - Motore di avanzamento
- LD - Traccia da seguire
- TK - Ruota di trascinamento (avanzamento dato da DM - rotazione trasmessa da SM)
- Rz - Raddrizzatore
- VK - Variac.

trico. Quest'ultimo appoggia sulla tavola per mezzo di una rotella la quale è mossa da due piccoli motori. Uno dei motori fa avanzare la rotella a velocità costante lungo il disegno; questa velocità (di avanzamento) è scelta dall'operatore in base allo spessore della lamiera e dalla tortuosità del tracciato da seguire. Il secondo motore è quello « direzionale » e, facendo ruotare la rotella attorno ad un asse verticale, le consente appunto di seguire la direzione della linea tracciata; questo secondo motorino è controllato dal circuito fotoelettrico in modo che la cellula relativa si mantenga sempre sul tracciato fissato alla tavola.

La descrizione che segue comprende essenzialmente il circuito principale ed accenna solo brevemente ad alcuni elementi accessori come al relè di arresto « fuori tracciato ».

Sistema di lettura

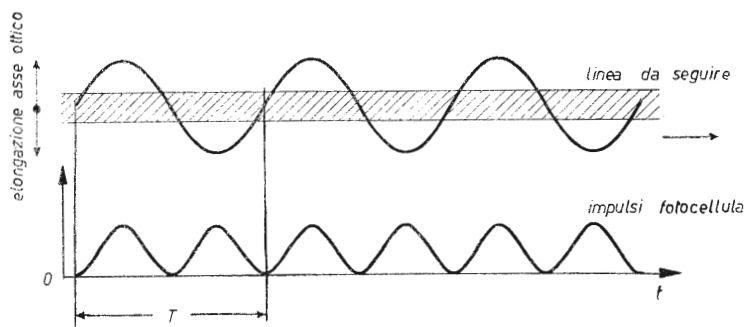
La linea da percorrere è illuminata da lampadine e viene esplorata dalla fotocellula, montata sopra le lampadine, attraverso un sistema di lenti (fig. 90) per la messa a fuoco sulla cellula della linea stessa. La fotocellula è fatta vibrare da un piccolo elettromagnete in un piano perpendicolare alla direzione della linea da percorrere e tutto il complesso descritto è collegato alla rotella in modo da mantenere la perpendicolarità citata, in ogni istante.

Se la fotocellula è perfettamente centrata, mentre oscilla il suo asse passa sulla linea nera del tracciato due volte ogni periodo cosicchè il segnale prodotto è formato da cento impulsi al secondo (se la frequenza di rete è 50 Hz) (fig. 91a). Inoltre, siccome l'ampiezza della oscillazione è tale che l'asse della cellula si sposti di poco oltre lo spessore della linea nera del tracciato, gli impulsi sono relativamente piccoli.

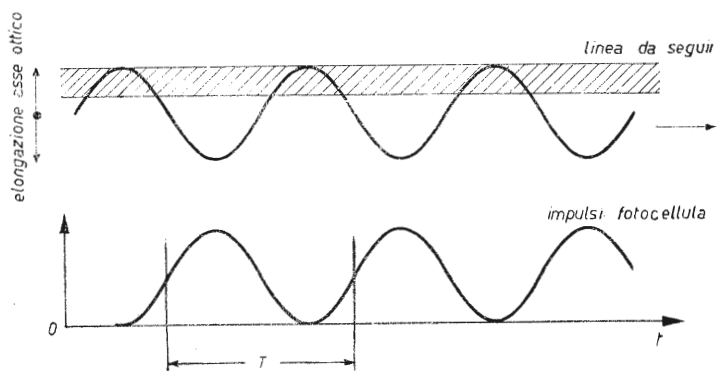
Se ora, mentre la rotella avanza sulla tavola, alla zona « esplorata » dalla cellula si presenta una deviazione della linea da seguire, gli impulsi assumono l'aspetto indicato nella figura 91b e figura 91c con andamenti analoghi ma sfasati di 180°.

In conclusione: la fotocellula centrata produce un segnale di frequenza doppia di quella di rete e di lieve entità, mentre quando è « spostata » a destra o a sinistra rispetto alla direzione della linea da percorrere, fornisce un segnale alla frequenza di rete e di fase opposta. Il segnale prodotto può essere perciò utilizzato per pilotare (dopo opportuna amplificazione) il motore di direzione della rotella di avanzamento.

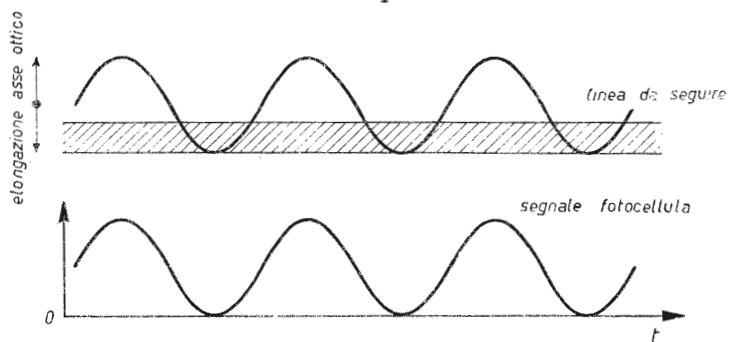
Il motore direzionale impiegato è del tipo « bifase » o « monofase reversibile » che dir si voglia, molto diffuso nei servomeccanismi di posizione ed è formato da un rotore a gabbia e da due campi di eccitazione uno dei quali è alimentato da tensione alternata fissa; alimentando l'altro campo a tensione variabile e della stessa frequenza, il motore parte in un senso o nell'altro a seconda della fase di questa tensione.



a



b₁



c

Fig. 91 - Impulsi sulla fotocellula in funzione dell'elongazione dell'asse ottico.

(→ senso di avanzamento).

a - cellula centrata

b - cellula « spostata » a destra

c - cellula « spostata » a sinistra.

Circuito antipendolante tachimetrico

Il circuito che stiamo descrivendo è un regolatore di posizione perchè in ultima analisi « *posiziona* » il sistema ottico lungo una linea. D'altra parte le masse in gioco sono rilevanti perchè si tratta di muovere con una rotella di piccole dimensioni il carro con la barra. Per ottenere buoni risultati occorre perciò rendere molto stabile il circuito nel senso di impedirgli di prendere l'abbrivio « *buttando fuori strada* » la rotella di avanzamento. Questo scopo viene raggiunto anzitutto graduando la *velocità di avanzamento* in base alla tortuosità del circuito e in secondo luogo con un circuito stabilizzatore del motore di direzione, che impiega un generatore tachimetrico. Questo generatore riduce la sensibilità, ossia la amplificazione del circuito principale, tanto più quanto maggiore è la velocità del motore direzionale. Non intendiamo qui illustrare a fondo il significato del circuito stabilizzante che abbiamo descritto, ma basterà ricordare che una regola fondamentale dei circuiti di regolazione indica, come primo sistema per stabilizzare questi circuiti, la introduzione di un segnale che rappresenta la derivata della grandezza regolata; nel nostro caso la grandezza regolata è una posizione, variabile nel tempo, per cui il segnale stabilizzante è ricavato dalla sua derivata, ossia da una velocità. La tachimetria è formata da un rotore a campana, in rame, che ruota entro il traferro di un trasformatore monofase ⁽¹⁾. Se il rotore è fermo, esso rappresenta una spira in corto circuito e perciò ai capi del secondario del trasformatore non è disponibile alcuna tensione. È noto d'altra parte che un campo monofase alternativo è equivalente a due campi alternativi rotanti in senso opposto; perciò facendo girare il rotore in un senso e in sincronismo con uno dei campi rotanti citati, agli effetti di questo la « *spira rotore* » è come se fosse aperta ed al secondario è disponibile una tensione. Al variare della velocità del rotore si può così ottenere una tensione secondaria variabile in ampiezza e di frequenza costante (quella che alimenta il primario). Invertendo il senso di rotazione si ottiene un risultato analogo salvo che la fase è opposta.

Amplificatore

La parte « centrale » del circuito di controllo è costituito da alcuni stadi di amplificazione (fig. 92) per segnali c.a. con tubi a vuoto. Si tratta di tre stadi normali seguiti da due stadi antiparalleli, l'ultimo dei quali alimenta il trasformatore di uscita che a sua volta alimenta il campo di controllo del motorino bifase.

Il segnale proveniente dalla cellula fotoelettrica entra nel primo stadio che è munito di polarizzazione automatica di griglia; segue un filtro che ha

⁽¹⁾ Questa tachimetria, come il motorino bifase citato in precedenza, fanno parte di una serie di dispositivi rotanti definiti in genere come « *dispositivi per servo-meccanismi* » e della quale fanno parte anche i sincrotrasmettitori, i sincroricevitori, ecc.

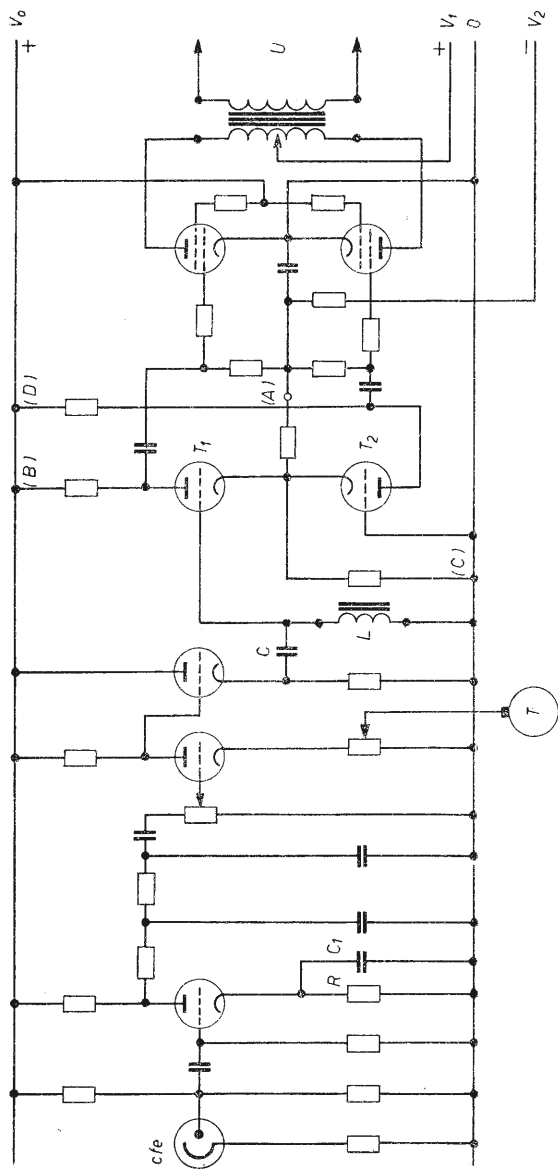


Fig. 22 - Schema di principio dell'amplificatore.

c/e - Cellula fotoelettrica
 R, C - Polarizzazione automatica
 C, L - Circuito sintonizzato alla frequenza di rete
 T - Tachimetro
 $(A)(B)(C)(D)$ - Riferimenti per figura 93
 U - Tscia (motore c.a. reversibile)
 V_0, V_1, V_2 - Tensioni di alimentazione

lo scopo di eliminare le frequenze superiori a quella di rete. Il segnale antipendolante tachimetrico entra sul catodo del secondo stadio; sul catodo del terzo stadio è presente un circuito $C-L$ accordato alla frequenza di rete. I due stadi antiparalleli sono alimentati da tre tensioni continue: la prima (V_0) alimenta il circuito anodico del penultimo stadio e le griglie schermo dell'ultimo; la seconda (V_1) alimenta il circuito anodico dell'ultimo stadio; la terza infine (V_2) serve a fissare il potenziale base (a riposo) griglia/catodo del penultimo stadio.

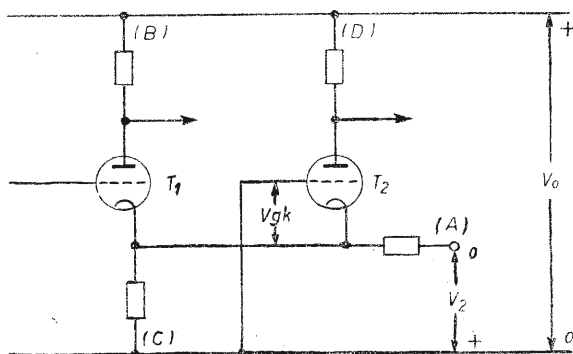


Fig. 93 - Circuito equivalente tratto dallo schema dell'amplificatore illustrato nella figura 92; punti (A)-(B)-(C)-(D)

V_0, V_2 - Tensioni di alimentazione
 T_1, T_2 - Triodi a vuoto
 V_{gk} - Tensione griglia/catodo

La funzione di V_2 è illustrata dal circuito equivalente della figura 93 da cui si ricava che la tensione V_{gk} dipende da V_2 e che quest'ultima esercita la stessa funzione della presa poteziometrica alla griglia di T_2 nella figura 19 (a pag. 30).

Il circuito completo parte perciò dalla cellula fotoelettrica e, attraverso l'amplificatore, giunge al motorino di direzione che orienta la rotellina in modo da mantenerla sulla linea tracciata.

Relè «fuori tracciato»

Per centrare la fotocellula, un manubrio consente di sollevare la rotella e di spostare a mano il complesso nel punto voluto, avendo come guida una macchina luminosa fornita dalla lampadina (l_a) della figura 90.

Per l'inizio del movimento è opportuno tracciare una linea di invito tangente al tracciato da percorrere (fig. 94).

Se per una curva troppo brusca o per altro inconveniente, il tracciatore esce di strada, il complesso si arresta ed eventualmente spegne la fiamma

del cannello, per mezzo di un relè. Questo relè è comandato da uno stadio dell'amplificatore nel senso che, quando il segnale dalla fotocellula è alternativo, il relè si eccita; se invece la zona esplorata dalla cellula « esce » dal disegno, il segnale della cellula è continuo perchè la zona « vista » risulta

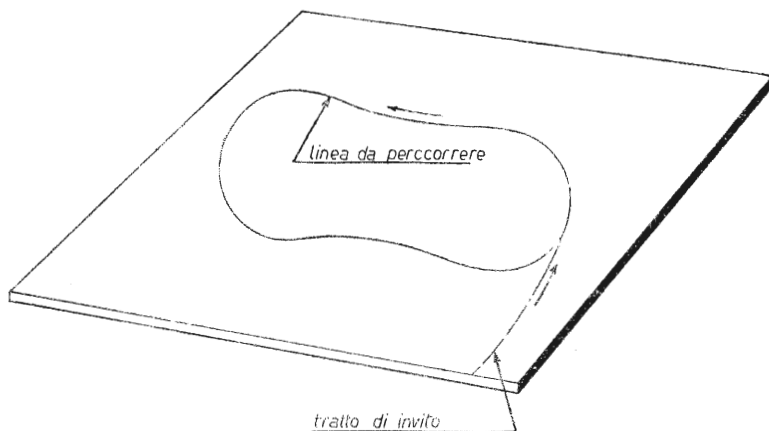


Fig. 94 - Tratto iniziale di invito da effettuarsi prima di iniziare il taglio del profilo richiesto.

bianca ed allora il relè diseccita. Il tubo che alimenta il relè ha la griglia polarizzata in modo che normalmente non conduce; quando c'è il segnale alternativo, questo viene raddrizzato e sommato alla polarizzazione base per cui il tubo conduce facendo attrarre il relè.

INDICE DEGLI ARGOMENTI

PARTE PRIMA — CONSIDERAZIONI GENERALI

CAP.	I - Cosa sono i circuiti elettronici industriali	3
	Raffronto fra un circuito elettronico industriale ed un complesso radoricevente	4
CAP.	II - I tubi a vuoto ed a gas	8
	Tubi a vuoto e circuiti di regolazione	8
	Tubi a gas e circuiti di potenza	10
CAP.	III - Rapporti tra elettronica industriale e azionamenti industriali	13
	Servomeccanismi e circuiti di regolazione	13
	Esempio di servomeccanismo	14
	Suddivisione funzionale di un servomeccanismo - Schema a blocchi	14

PARTE SECONDA — CIRCUITI FONDAMENTALI CON TUBI A VUOTO

CAP.	I - Funzionamento dei tubi a vuoto	17
CAP.	II - Lo stadio di amplificazione	18
	Entrata di griglia e uscita (in tensione) dall'anodo	19
	Entrata in griglia e uscita dal catodo (catode follower)	20
	Entrata sul catodo (tensione)	20
	Uscite in corrente	20
CAP.	III - Amplificatore in corrente continua e in corrente alternata	21
	Note sull'accoppiamento tra stadi di amplificazione	23

CAP.	IV - Esempio di due stadi di amplificazione in c.c.	25
CAP.	V - Circuiti antiparalleli	29
CAP.	VI - Esempio di circuito antiparallelo	35
CAP.	VII - Circuiti di blocco	38
CAP.	VIII - Circuiti a tempo	42
CAP.	IX - Tubi a vuoto (diodi) come raddrizzatori	47

PARTE TERZA — CIRCUITI CON TUBI A GAS

CAP.	I - Funzionamento dei tubi a gas	49
CAP.	II - Raddrizzatori controllabili ad una semionda	56
CAP.	III - Raddrizzatori controllabili a due semionde	61
CAP.	IV - Bobina di assorbimento nei raddrizzatori polifasi ..	63
CAP.	V - Reversibilità di funzionamento con tubi a gas	67
CAP.	VI - Disinnesco di tubi a gas alimentati in c.c.	71
	Tubi a gas come interruttori	73
CAP.	VII - Circuiti sfasatori per tubi a gas	75
	Controllo verticale	75
	Controllo orizzontale	80

PARTE QUARTA — CIRCUITI COMPLETI

CAP.	I - Relè elettronico a tempo	87
CAP.	II - Regolazione elettronica di posizione e comando di una saracinesca	90
CAP.	III - Azionamento reversibile, comando per saldatrice ad arco sommerso	93
CAP.	IV - Thymotrol a due semionde per motore a c.c. a campo costante	96
	Generalità	96

	Controllo della tensione di armatura	96
	Compensazione di caduta	99
	Limitazione di corrente	101
CAP. V -	Controllo fotoelettrico lungo un tracciato predi-	
	sposto	104
	Generalità.....	104
	Descrizione generale del complesso	105
	Sistema di lettura	106
	Circuito antipendolante tachimetrico.....	108
	Amplificatore.....	108
	Relè fuori tracciato.....	110

OPERE TECNICHE DELLA EDITORIALE DELFINO

Serie ELETTRIFICAZIONE

- 1 Installazione delle macchine elettriche rotanti (IV ediz.)
- 2 Manutenzione delle macchine elettriche rotanti (IV ediz.)
- 3 Unificazione della frequenza (III ediz.)
- 4 Rifasamento degli impianti industriali (III ediz.)
- 5 I teleruttori e loro applicazioni industriali (III ediz.)
- 6 Installazione e manutenzione dei trasformatori industriali (IV ediz.)
- 7 Come si legge una bolletta dell'energia elettrica (II ediz.)
- 8 Riduttori di misura (II ediz.)
- 9 Magnet permanenti (II ediz.)
- 10 Gli impianti elettrici a bordo delle autovetture (IV ediz.)
- 11 Gli schemi elettrici delle autovetture (III ediz.)
- 12 I guasti nell'impianto elettrico delle autovetture (IV ediz.)
- 13 Che cos'è e come si installa un televisore (IV ediz.)
- 14 Illuminotecnica - Principi di fotometria (II ediz.)
- 15 Illuminotecnica - Progetto e calcolo degli impianti di illuminazione (II ediz.)
- 16 Illuminotecnica - Le sorgenti di luce (II ediz.)
- 17 Costruzione e calcolo dei piccoli trasformatori (IV ediz.)
- 18 Unità di misura (III ediz.)
- 19 Misura delle temperature (II ediz.)
- 20 I raddrizzatori all'ossido di rame ed al selenio (II ediz.)
- 21 Le cabine di trasformazione (III ediz.)
- 22 La matematica per l'elettrotecnico - Algebra e trigonometria (II ediz.)
- 23 La matematica per l'elettrotecnico - Geometria piana e solida - Diagrammi - Geometria analitica - Vettori (III ediz.)
- 24 La matematica per l'elettrotecnico - Logaritmi - Regolo calcolatore - Numeri normali - Calcolo differenziale (II ediz.)
- 25 I nomogrammi (II ediz.)
- 26 La messa a terra degli impianti elettrici (III ediz.)
- 27 Il relè nell'industria (III ediz.)
- 28 Motori asincroni trifasi di piccola e media potenza (II ediz.)
- 29 La costruzione delle cabine di trasformazione (II ediz.)
- 30 Manutenzione delle apparecchiature elettriche
- 31 L'alluminio nell'elettrotecnica
- 32 Alberi elettrici
- 33 Equipaggiamenti elettrici industriali per l'industria siderurgica; macchine utensili; apparecchi di sollevamento
- 34 Protezione delle macchine elettriche
- 35 Il calcolo delle correnti di corto circuito negli impianti elettrici
- 36 Gli impianti elettrici e le norme di legge
- 37 Segnalazioni elettriche nell'industria e nelle comunità
- 38 Metodi di misura delle correnti continue
- 39 Impianti elettrici negli aeroporti
- 40 Motori elettrici di piccola e piccolissima potenza
- 41 Gli scaricatori di sovratensione

Serie ELETTRONICA

- 1 E) Oscillografo a raggi catodici: costituzione ed impiego pratico (IV ediz.)
- 2 E) Tubi elettronici nell'industria (II ediz.)
- 3 E) Circuiti fondamentali dell'elettronica industriale (II ediz.)
- 4 E) Diodi al germanio ed al silicio (II ediz.)
- 5 E) I gruppi Ward Leonard: composizione, funzionamento, realizzazioni elettroniche, applicazioni (II ediz.)
- 6 E) Amplificatori magnetici (II ediz.)
- 7 E) Transistori

Serie MECCANICA

- 1 M) Resistenza dei materiali (II ediz.)
- 2 M) Tracciatura d'officina
- 3 M) Saldatura ossiacetilenica

Serie SCIENZA E TECNICA DELL'ATOMO

- 1 A) Gli acceleratori per fisica nucleare (II ediz.)
- 2 A) I quanti di Planck - Le molecole - La radiazione (II ediz.)
- 3 A) La relatività (II ediz.)
- 4 A) L'atomo
- 5 A) Meccanica ondulatoria e quantistica
- 6 A) La radioattività

EDITORIALE DELFINO

**CIRCUITI FONDAMENTALI
NELL'ELETTRONICA
INDUSTRIALE**

Con tubi a vuoto e a gas

di energia (II ediz.)
li (rist. riveduta)
mi per impianti civili ed industriali)

Lire 1.200

csf

C.S.F. COMPONENTI ITALIA

- CONDENSATORI IN CARTA E OLIO
- CONDENSATORI VARIABILI
- CONDENSATORI A MICA

PER TUTTE LE APPLICAZIONI PROFESSIONALI



DUCATI

ELETTROTECNICA S.p.A.

BORGOPANIGALE - BOLOGNA

Casella Postale 588 - telef. 491.701

Telegrammi e telescrivente: Telex 51.042 Ducati